



**TUGAS AKHIR - MO141326**

**STUDI PARAMETRIK PADA *MULTIPLANAR TUBULAR JOINT DOUBLE K* TERHADAP NILAI SCF**

Urfan Hidayat

NRP. 4311 100 075

Pembimbing :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Ir. Wisnu Wardhana, S.E, M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



**FINAL PROJECT - MO141326**

# **PARAMETRIC STUDY OF STRESS CONCENTRATION FACTOR IN MULTIPLANAR TUBULAR JOINT DOUBLE K**

Urfan Hidayat

NRP. 4311 100 075

Supervisors :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Ir. Wisnu Wardhana, S.E, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2016

## KATA PENGANTAR

Assalamu' alaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas semua berkat pertolongan dan rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik mungkin. Ucapan terima kasih sudah sepatutnya diberikan kepada Dr. Eng. Rudi Walujo P, ST., MT., dan Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc, selaku dosen pembimbing yang selalu mengarahkan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini berjudul “**Studi Parametrik Pada Multiplanar Tubular Joint Double K Terhadap Nilai SCF nya**”.

Manusia adalah tempat lupa dan salah, begitupun juga penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini terdapat kemungkinan terjadi kesalahan dan kekurangan. Penulis sudah berusaha untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca semua.

Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna baik bagi penulis maupun pembaca. Atas perhatiannya terimakasih.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 7 Januari 2016

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Banyak pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua dan kakak penulis, yang selalu aktif memberikan dukungan dan mendoakan
2. Dr. Eng. Rudi Walujo P. ST., MT., dan Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan mengarahkan jalannya pengerjaan penelitian ini dengan baik.
3. Staff pengajar Jurusan Teknik Kelautan ITS yang berkontribusi menyumbangkan ilmunya sebagai penelitian ini dapat berjalan lancar.
4. Arvina Puspaningtyas, Raditya Danu, Dimas Meidhika, dan Yuni Ari Wibowo sebagai partner diskusi yang senantiasa membantu pemahaman materi dalam penelitian ini
5. Abdil Hafizh, Faris Rasyadi, Dimas Wahyu, Riva Nur, Carolina Ardhylla, Muhammad Dinaryo, Fajar Vira, Alvina Amadea, Rifandy Mulyawan, Fawwaz, Widhi Yuliarta, Yuriandy, Windra Bangun, Ika Puspita, Greondy Racharias, Irvianto Yudho, Yusak Kurniawan dan Revy Adya Irawan yang selalu mendukung dan memberi semangat positif
6. Keluarga besar Trident yang senantiasa memotivasi sehingga penelitian ini dapat terselesaikan tepat waktu
7. Pengurus Laboratorium Operasi Riset dan Perancangan yang mengizinkan penulis untuk mengerjakan penelitian ini dan selalu memberi motivasi untuk menyelesaikan penelitian ini
8. Serta semua pihak yang telah turut membantu terselesaikannya penelitian ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu

Semoga seluruh bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang baik dari Allah SWT dan menjadi bekal di masa depan bagi penulis.

-Penulis-

**STUDI PARAMETRIK PADA *MULTIPLANAR TUBULAR JOINT*  
*DOUBLE K* TERHADAP NILAI SCF**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**URFAN HDAYAT**  
NRP. 4311 100 075

Disetujui oleh :

1. Dr. Eng. Rudi Wahyu Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing 1)



2. Ir. Wikanu Wicakana, S.E., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Prof. Dr. Ir Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)

4. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. (Penguji 2)

5. Ir. Murdjito, M.Sc.Eng (Penguji 3)

6. Herman Praktikno, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 4)

SURABAYA, JANUARI 2016

# STUDI PARAMETRIK PADA *MULTIPLANAR TUBULAR JOINT DOUBLE K* TERHADAP NILAI SCF

Nama Mahasiswa : Urfan Hidayat

NRP : 4311100075

Jurusan : Teknik Kelautan

Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T, M.T

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

## ABSTRAK

Struktur lepas pantai yang digunakan pada saat eksplorasi minyak gas dan bumi harus memenuhi standart keamanan salah satunya adalah kelelahan struktur (*fatigue*). Desain *Fatigue* pada *tubular joints* menggunakan metode *hot-spot* karena dari nilai tegangan *hotspot* akan diketahui nilai faktor konsentrasi tegangannya (SCF). Nilai SCF merupakan komponen penting dalam perhitungan *fatigue* karena tegangan yang terjadi pada sambungan tubular tidak menyebar secara merata. , Tugas Akhir ini membahas tentang studi parametrik SCF pada multi-planar tubular joint double K dengan beberapa variasi parameter yaitu  $\beta$ ,  $\tau$ , dan  $\gamma$ . Hasil dari pemodelan menunjukkan menunjukkan bahwa perubahan nilai tiap parameter dengan variasi pembebanan tidak terlalu signifikan. Dari variasi parameter tersebut didapatkan dimensi terbaik dengan nilai SCF terkecil parameter  $\beta=0.5$  untuk posisi brace dan chord, nilai parameter  $\tau = 0.3; 0.4$  posisi brace sedangkan untuk posisi *chord* berada pada parameter  $\tau = 0.5; 0.6$ , dan nilai parameter  $\gamma = 18$  pada posisi brace dan chord.

**Kata Kunci:** tegangan *hotspot*, faktor konsentrasi tegangan, *multi-planar tubular joint*, studi parametrik, metode elemen hingga

***PARAMETRIC STUDY OF STRESS CONCENTRATION  
FACTOR IN MULTIPLANAR TUBULAR JOINT DOUBLE K***

**Name of Student** : Urfan Hidayat  
**NRP** : 4311100075  
**Department** : Teknik Kelautan  
**Supervisors** : Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T, M.T  
Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

***ABSTRACT***

Offshore structure which was used during oil and gas exploration is obligated to meet the safety standard, including structure fatigue. Fatigue design in tubular joints used hot spot method, because hot spot stress value would produced stress concentration factor (SCF). SCF is an important component in fatigue analysis, because the stress occurred at tubular joints did not spread evenly. This final project discussed about SCF parametric study in multi-planar tubular joint double K with several parameter, such as b, t, and y. The results from modelling showed that there were no significant change in parameter values as with loading variances. From the parameter variances resulted best dimension with the smallest SCF parameter  $b=0.5$  for brace and chord, parameter values  $t = 0.3; 0.4$  brace position, while for chord position parameter placed in  $t = 0.5; 0.6$ , and parameter value  $y = 18$  in brace and chord position.

**Kata Kunci:** hotspot stress , stress concentration factor, multi-planar tubular joint, study parametric, finite element method.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
BAB I    PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
1.6 Sistematika Laporan .....	4
BAB II    TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2. Dasar Teori .....	6
2.2.1 <i>Tubular Joint</i> .....	6
2.2.2 <i>Multiplanar Joint</i> .....	7
2.2.3 Desain Sambungan Las .....	8
2.2.4 Pembebanan Dasar .....	9
2.2.5 Tegangan Nominal .....	10
2.2.6 <i>Hot-Spot Stress</i> .....	10
2.2.7 Penentuan Tegangan <i>Hot-Spot</i> dengan Metode Elemen Hingga	
11	
2.2.7 <i>Stress Concentration Factor (SCF)</i> .....	12
2.2.8 Metode Elemen Hingga .....	13



BAB III	METODOLOGI PENELITIAN .....	15
3.1	Metode Penelitian .....	15
3.2	Prosedur Penelitian .....	16
BAB IV	ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1	Pemodelan Elemen Hingga .....	22
4.2	Analisa Sensitivitas ( <i>Meshing Sensitivity</i> ).....	23
4.3	Hasil Tegangan Hotpot Pada Variasi $\beta$ .....	24
4.3.1	Beban Aksial .....	24
4.3.2	Beban Bending .....	28
4.3.3	Beban Kombinasi Aksial dan Bending .....	31
4.4	Hasil Tegangan Hotspot Pada Variasi $\tau$ .....	34
4.4.1	Beban Aksial .....	34
4.4.2	Beban Bending .....	38
4.4.3	Beban Kombinasi Aksial dan Bending.....	41
4.5	Hasil Tegangan Hotspot Pada Variasi $\gamma$ .....	44
4.5.1	Beban Aksial .....	44
4.5.2	Beban Bending .....	47
4.5.3	Beban Kombinasi Aksial dan Bending.....	50
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran .....	54
	DAFTAR PUSTAKA .....	56
	LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Geometri <i>Multi-planar Tubular Joint</i> .....	17
Tabel 3.2 <i>Material Properties</i> pada <i>Multi-planar Tubular Joint</i> .....	17
Tabel 3.3 <i>Moment</i> dan <i>Force</i> pada <i>Multi-planar Tubular Joint</i> .....	18
Tabel 3.4 Variasi Parameter Beta.....	20
Tabel 3.5 Variasi Parameter Tau.....	20
Tabel 3.6 Variasi Parameter Gamma .....	20
Tabel 3.7 Validasi Nominal <i>Stress</i> (psi) pada Struktur <i>Multi-planar Tubular Joint</i> .	21
Tabel 4.1 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter $\beta$ dengan beban aksial.....	27
Tabel 4.2 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter $\beta$ dengan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	30
Tabel 4.3 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter $\beta$ dengan beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	33
Tabel 4.4 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter $\tau$ dengan beban aksial.....	37
Tabel 4.5 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter $\tau$ dengan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	40
Tabel 4.6 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter $\tau$ dengan beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	43
Tabel 4.7 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter $\gamma$ dengan beban aksial.....	46
Tabel 4.8 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter $\gamma$ dengan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	49
Tabel 4.9 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter $\gamma$ dengan beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Model <i>simple</i> dan <i>multiplanar tubular joint</i> .....	1
Gambar 2.1 Klasifikasi pada <i>tubular joint</i> .....	7
Gambar 2.2 <i>Simple Joint</i> dan <i>Multiplanar joint</i> .....	8
Gambar 2.3 Sambungan dengan jenis lasan <i>toe fillet weld</i> .....	9
Gambar 2.4 Mode Pembebanan Pada Sambungan Tubular .....	9
Gambar 2.5 Berbagai tegangan yang terjadi pada <i>weld toe</i> .....	11
Gambar 2.6 Prosedur Ekstrapolasi linier pada <i>tubular joint</i> .....	12
Gambar 2.7 Elemen Solid .....	14
Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian .....	13
Gambar 3.2 a <i>Braced Caisson Wekk Platform</i> .....	14
Gambar 3.2 b <i>Multi-planar Tubular Joint (Double K Joint)</i> .....	14
Gambar 3.3 Pemodelan <i>Multi-planar Tubular Joint Double K</i> dengan ANSYS .....	16
Gambar 3.4 <i>Mesh</i> pada <i>Multi-planar Tubular Joint</i> .....	17
Gambar 3.5 Model Sambungan Las .....	17
Gambar 4.1 Model <i>Meshing</i> pada <i>Tubular Joint</i> .....	19
Gambar 4.2 Grafik hasil <i>meshing sensitivity</i> parameter Beta .....	20
Gambar 4.3 Grafik hasil <i>meshing sensitivity</i> parameter Teta .....	20
Gambar 4.4 Grafik hasil <i>meshing sensitivity</i> parameter Gama .....	21
Gambar 4.5 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial .....	22
Gambar 4.6 Deformasi yang terjadi pada saat diberikan beban aksial .....	22
Gambar 4.7 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban aksial .....	26
Gambar 4.8 Grafik ekstrapolasi linier pada chord karena beban aksial .....	26
Gambar 4.9 Grafik SCF pada variasi $\beta$ dengan beban aksial .....	28
Gambar 4.10 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	28
Gambar 4.11 Deformasi terjadi saat diberikan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	29
Gambar 4.12 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban bending .....	29
Gambar 4.13 Grafik ekstrapolasi linier pada chord karena beban bending .....	30

Gambar 4.14 Grafik SCF pada variasi $\beta$ dengan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	31
Gambar 4.15 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	31
Gambar 4.16 Deformasi terjadi saat diberikan beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	32
Gambar 4.17 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan Bending .....	32
Gambar 4.18 Grafik ekstrapolasi linier pada chord karena beban kombinasi aksial dan Bending .....	33
Gambar 4.19 Grafik SCF pada variasi $\beta$ dengan beban kombinasi aksial <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	34
Gambar 4.20 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial	35
Gambar 4.21 Deformasi terjadi saat diberikan beban aksial .....	35
Gambar 4.22 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban aksial .....	36
Gambar 4.23 Grafik ekstrapolasi linier pada chord karena beban aksial .....	36
Gambar 4.24 Grafik SCF pada variasi $\tau$ dengan beban aksial .....	37
Gambar 4.25 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	38
Gambar 4.26 Deformasi terjadi saat diberikan beban beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	38
Gambar 4.27 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban bending .....	39
Gambar 4.28 Grafik ekstrapolasi linier pada chord karena beban bending .....	39
Gambar 4.29 Grafik SCF pada variasi $\tau$ dengan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	40
Gambar 4.30 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	41
Gambar 4.31 Deformasi terjadi saat diberikan beban beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	41

Gambar 4.32 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan Bending .....	42
Gambar 4.33 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan Bending .....	42
Gambar 4.34 Grafik SCF pada variasi $\tau$ dengan beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	43
Gambar 4.35 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial	44
Gambar 4.36 Deformasi terjadi saat diberikan beban beban aksial .....	45
Gambar 4.37 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban aksial .....	45
Gambar 4.38 Grafik ekstrapolasi linier pada chord karena beban aksial.....	46
Gambar 4.39 Grafik SCF pada variasi $\gamma$ dengan beban aksial.....	47
Gambar 4.40 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	47
Gambar 4.41 Deformasi terjadi saat diberikan beban beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	48
Gambar 4.42 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban bending.....	48
Gambar 4.43 Grafik ekstrapolasi linier pada chord karena beban bending .....	49
Gambar 4.44 Grafik SCF pada variasi $\gamma$ dengan beban <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	50
Gambar 4.45 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	50
Gambar 4.46 Deformasi terjadi saat diberikan beban beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	51
Gambar 4.47 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan Bending .....	51
Gambar 4.48 Grafik ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan Bending .....	52
Gambar 4.49 Grafik SCF pada variasi $\gamma$ dengan beban aksial, <i>inplane bending</i> dan <i>out of plane bending</i> .....	53

## DAFTAR LAMPIRAN

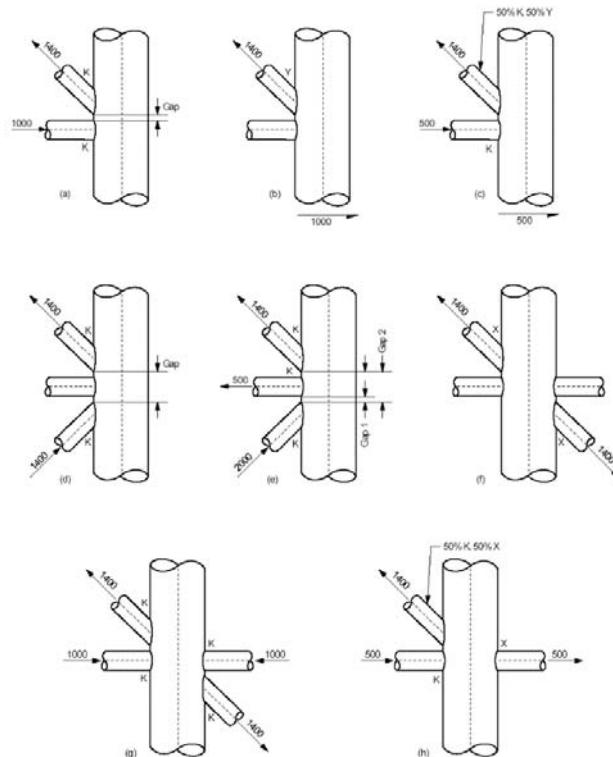
Lampiran A	Data Awal
Lampiran B	Variasi Pemodelan
Lampiran C	Meshing Sensitivity
Lampiran D	Hasil Tegangan <i>Hotspot</i> , <i>Total Deformation</i> , dan Faktor Konsentrasi Tegangan Variasi $\beta$
Lampiran E	Hasil Tegangan <i>Hotspot</i> , <i>Total Deformation</i> , dan Faktor Konsentrasi Tegangan Variasi $\tau$
Lampiran F	Hasil Tegangan <i>Hotspot</i> , <i>Total Deformation</i> , dan Faktor Konsentrasi Tegangan Variasi $\gamma$

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Sebagai negara penghasil minyak dan gas, pada umumnya Indonesia menggunakan *jacket* platform untuk mengeksploitasi minyak dan gas bumi. *Jacket platform* merupakan salah satu jenis dari *fixed platform*. Komponen utama bangunan lepas pantai khususnya yang bertipe *fixed platform* umumnya terdiri dari atas baja dengan bentuk silindris yang disebut *tubular*. Sambungan *tubular* dengan bagian utama disebut *chord* dan bagian cabang disebut *brace*, keduanya dihubungkan dengan sambungan yang dikenal dengan *tubular joint*.



**Gambar 1.1 Model simple dan multiplanar tubular joint**

Struktur yang digunakan terus-menerus pada saat eksplorasi minyak gas dan bumi pastinya harus memenuhi standart keamanan terutama dalam kegagalan struktur yang salah satunya yaitu kelelahan struktur (*fatigue*). Struktur yang

menahan beban statis dari struktur tersebut dan juga terkena beban siklis dari beban lingkungan yang secara terus menerus karena keadaan operasional akan menyebabkan kelelahan, dan juga termasuk pada *member* maupun pada sambungan atau *tubular joint*.

Proses *fatigue* terjadi adalah pada saat *chord* menyalurkan beban terhadap *brace*, maka tegangan pada *joint* tersebut akan mencapai maksimum. Sambungan *chord* dan *brace* dilas pada saat proses fabrikas, dan ketika las pada *joint* mendingin, terbentuk retak mikro pada ujung-ujung las. Retak mikro yang terjadi akan menyebar pada saat *joint* dikenai beban tegangan secara siklik.

Desain *Fatigue* pada *tubular joints* berdasarkan pada metode *hot-spot stress*, yang telah terbukti sangat efisien dan populer. *Hot-spot stress* adalah tegangan maksimum pada intersection (local) pada ujung las sambungan *joint*. Berdasarkan metode ini, jarak tegangan nominal  $\Delta\sigma$  pada *joint member* dikalikan dengan faktor konsentrasi tegangan (SCF) yang biasanya disebut tegangan geometri  $S'$  pada lokasi tertentu. (Karamanos et al, 2001)

Nilai SCF merupakan komponen penting dalam perhitungan *fatigue damage* karena tegangan yang terjadi pada sambungan tubular tidak menyebar secara merata. Formula empirik untuk penentuan atau perhitungan SCF pada sambungan multibidang (*multiplanar*) masih sangat jarang dibandingkan dengan simple joint. Saat ini, formula empirik untuk perhitungan SCF simple joint sudah sangat banyak. Untuk itu, Tugas Akhir ini akan membahas tentang studi parametrik SCF pada *multi-planar tubular joint double K* dengan beberapa variasi parameter  $\beta$ ,  $\tau$ , dan  $\gamma$ , dimana  $\beta$  adalah perbandingan diameter brace dengan diameter chord,  $\tau$  adalah perbandingan ketebalan brace dengan ketebalan chord, dan  $\gamma$  adalah perbandingan diameter chord dengan dua kali ketebalan chord. Selain itu jenis pembebanan yang digunakan adalah *axial load*, *in plane bending* dan *out of plane bending* untuk mendapatkan nilai SCF tersebut.



## 1.2 Perumusan masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana distribusi tegangan di sekitar intersection line pada *multi-planar tubular joint* dengan variasi  $\beta$ ,  $\tau$ , dan  $\gamma$ ?
2. Bagaimana nilai *stress concentration factor* pada *multi-planar tubular joint* dengan variasi pembebanan aksial, IPB, dan OPB?
3. Dimensi terbaik manakah yang merupakan SCF minimum pada *multi-planar tubular joint*?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui bagaimana distribusi tegangan di sekitar intersection line pada *multi-planar tubular joint* dengan variasi  $\beta$ ,  $\tau$ , dan  $\gamma$
2. Mengetahui bagaimana nilai *stress concentration factor* pada *multi-planar tubular joint* dengan variasi pembebanan aksial, IPB dan OPB
3. Mengetahui dimensi terbaik manakah yang merupakan SCF minimum

## 1.4 Manfaat

Hasil Analisa dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui nilai-nilai SCF dari beberapa variasi yang dilakukan sehingga didapatkan nilai SCF minimum untuk mendapatkan desain yang optimum.

## 1.5 Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini batasan masalah dan asumsi yang digunakan antara lain:

1. Objek penelitian adalah *multi-planar tubular joint* double K yang mana terdapat pada *Braced Caisson Well Platform*.
2. Pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan lokal
3. Variasi  $\beta$  yang digunakan yaitu  $\beta= 0.3$ ,  $\beta= 0.4$ , dan  $\beta= 0.5$
4. Variasi  $\tau$  yang digunakan yaitu  $\tau= 0.3$ ,  $\tau= 0.4$ ,  $\tau= 0.5$  untuk Brace D21, dan Variasi  $\tau= 0.4$ ,  $\tau= 0.5$ ,  $\tau= 0.6$  untuk Brace D22
5. Variasi  $\gamma$  yang digunakan yaitu  $\gamma= 13$ ,  $\gamma=16$ , dan  $\gamma=18$
6. Beban yang digunakan pada struktur adalah beban aksial, IPB, dan OPB

7. Support yang digunakan dalam pemodelan lokal menggunakan *Pinned Support* di kedua ujung chord.

## **1.6 Sistematika Laporan**

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan latar belakang Tugas Akhir yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai, manfaat dari penelitian, batasan-batasan masalah serta sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Bab ini mencakup tinjauan pustaka berupa penelitian-penelitian yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini, serta dasar-dasar teori yang akan digunakan.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir, data-data yang akan digunakan, serta pemodelan dan perhitungan yang akan dilakukan.

### **BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang hasil analisa, baik pemodelan maupun perhitungan dalam pengerjaan Tugas Akhir.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menyajikan hasil akhir dari analisa yang telah dilakukan sesuai perumusan masalah, serta saran yang dapat digunakan untuk menyempurnakan penelitian-penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Fatigue atau kelelahan struktur akibat beban berulang merupakan salah satu moda keruntuhan bangunan lepas pantai yang harus diwaspadai. Apalagi bila pada struktur banyak terdapat sambungan tubular yang akan terkena gaya dan beban dari berat struktur sendiri maupun pengaruh dari lingkungan. Adanya gaya yang bekerja pada sambungan tubular akan mengakibatkan tegangan pada sekitar perpotongan antara chord dan bracanya. Distribusi tegangan pada sambungan tubular sangatlah rumit untuk dideteksi, sehingga daerah ini perlu mendapat perhatian. Pada titik-titik tertentu sepanjang daerah perpotongan tersebut akan terjadi suatu tegangan yang besarnya beberapa kali lebih besar daripada tegangan nominal yang terjadi. Lokasi atau titik-titik dimana terjadi tegangan terbesar disebut *Hot-Spots*, dan tegangan yang terjadi pada daerah tersebut disebut *Hot-Spot Stress*.

Pada sambungan dapat terjadi dua *hot-spots* yang berbeda, satu pada weld toe pada sisi brace dan yang lain pada sisi chord. Untuk itu nilai tegangan maksimumnya kemungkinan bisa terjadi pada salah satu dari kedua tempat tersebut (Underwater Engineering Group, 1985)

Sambungan tubular yang dikenai beban akan menimbulkan tegangan maksimum (*hot-spot*) pada sambungannya (*Intersection*). Bagian sambungan itulah yang paling rawan akan keruntuhan baik *brittle* maupun *fatigue*. Perbandingan antara tegangan maksimum pada sambungan dengan tegangan nominal disebut *Stress Concentration Factor (SCF)*. Nilai SCF inilah yang merupakan salah satu komponen penting dalam penghitungan *fatigue damage*. SCF diperlukan karena tegangan yang terjadi pada sambungan tubular tidak menyebar secara merata.

Dalam mendapatkan nilai SCF pada sekitar *tubular joint* diperlukan analisa lokal pada *tubular joint*, untuk mendapatkan distribusi tegangan, yang mana nantinya distribusi tegangan ini dapat menentukan *hot-spot stress* pada tubular joint dan nilai SCF. Analisa lokal ini menggunakan metode elemen hingga (*Finite*

*Elemen Method*). Dengan metode ini, keakuratan yang didapat sangat dipengaruhi oleh model yang akan dianalisa. (Murthy et al, 2004).

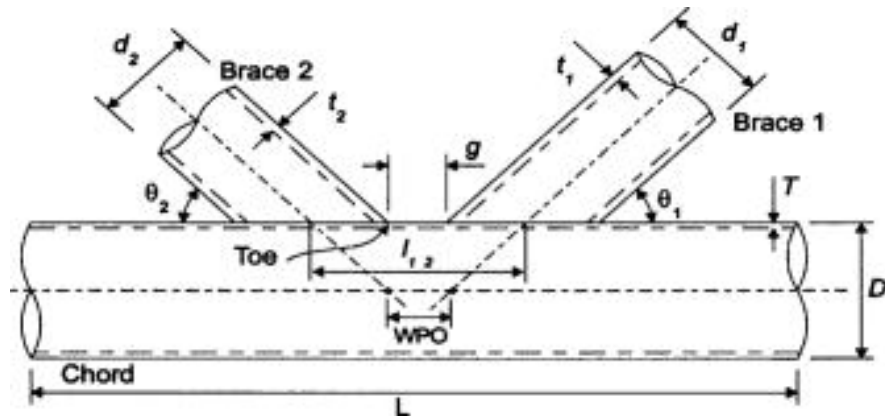
Persamaan SCF untuk *multi-planar joint* diusulkan oleh Marshall dan Luyties, yang memperkenalkan perhitungan parameter alfa " $\alpha$ " dalam hal ini disebut fungsi pengaruh, kedua metodologi ini hanya mengacu pada beban aksial saja dan mengabaikan *multiplanar bending* ( Marshall and Luyties, 1982). Dengan demikian, SCF karena *bending* dihitung sesuai dengan persamaan *uni-planar*, yang mengabaikan efek *multi-planar*. Dalam penelitian baru yang dilakukan oleh (Chiew et al, 1998) terhadap XT (triple-T)-*Joints* berdasarkan hasil elemen hingga, diusulkan persamaan parametrik untuk menghitung konsentrasi tegangan akibat beban aksial. Selain itu, dalam jurnalnya Karamanos et al, telah menyajikan persamaan SCF untuk *multi-planar DT-Joints* dengan beban aksial. (Karamanos et al, 2000)

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Tubular Joint**

Sambungan *tubular* dengan bagian utama disebut chord dan bagian cabang disebut brace, keduanya dihubungkan dengan sambungan yang dikenal dengan *tubular joint*. Pemakaian *tubular joint* dalam struktur tidak akan terlepas dari pengaruh cacat ataupun kerusakan-kerusakan yang terjadi terutama karena beban-beban yang mengenai struktur secara terus menerus baik beban statis maupun dinamis serta adanya daerah diskontinuitas (sambungan *tubular*) yang mengakibatkan adanya konsentrasi tegangan.

Dalam API RP2A sambungan tubular dapat diklasifikasikan menjadi K, T & Y dan cross joint. Untuk K-joint punching load pada brace perlu diseimbangkan dengan beban yang pada bracing yang lain pada bidang yang sama, sisi yang sama dan joint yang sama. Pada T & Y joint punching load dilawan dengan geser batang pada chord. Pada cross join Punching load disalurkan oleh chord kebrace yang lain pada sisi yang berlawanan (APIRP2A-WSD). Untuk contoh kalsifikasi joint dapat dilihat pada gambar .



**Gambar 2.1** Klasifikasi pada *tubular joint*

Parameter - parameter dalam tubular joint :

$$\alpha = 2L/D \quad \tau = t/T \quad \beta = d/D \quad \zeta = g/D \quad \gamma = D/2T$$

$\theta$  = sudut antara brace dengan chord      L = panjang chord

D = diameter chord

T = tebal dinding chord

d = diameter bracing

t = tebal dinding bracing

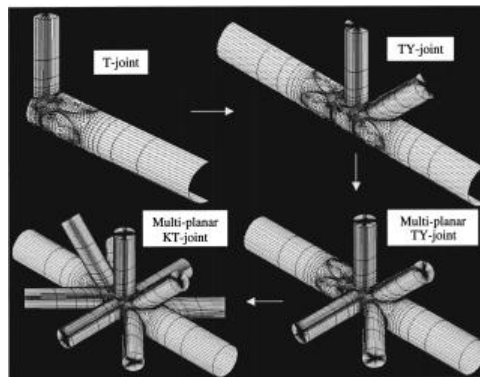
### 2.2.2 Multiplanar Joint

Multiplanar joint adalah tubular joint yang memiliki lebih dari satu bidang, dan letak-letak bracingnya di bidang yang berbeda. Multiplanar joint berperan penting dalam analisa stress pada tubular joint spasial pada platform lepas pantai. Stress maksimum pada multiplanar joint mungkin bisa lebih besar atau lebih kecil daripada uniplanar joint. Oleh karena itu rumus parametrik stress uniplanar tubular joint tidak dapat langsung digunakan untuk multiplanar joint. Perbedaan parameter geometri dan mode pembebanan yang berbeda sangat penting dalam analisa stress untuk desain kelelahan multiplanar tubular joint. Beberapa parameter geometri yang digunakan untuk analisa stress pada multiplanar tubular joint

1. Parameter Beta adalah rasio antara radius atau diameter dari brace dan chord. Pengaruh parameter ini serupa dengan perbedaan antara beban terkonsentrasi di tengah bentangan dan beban terdistribusi dalam desain balok, sehingga merupakan parameter yang sangat penting yang

berhubungan dengan ovalisasi dari chord. Parameter ini mempengaruhi juga terhadap distribusi tegangan.

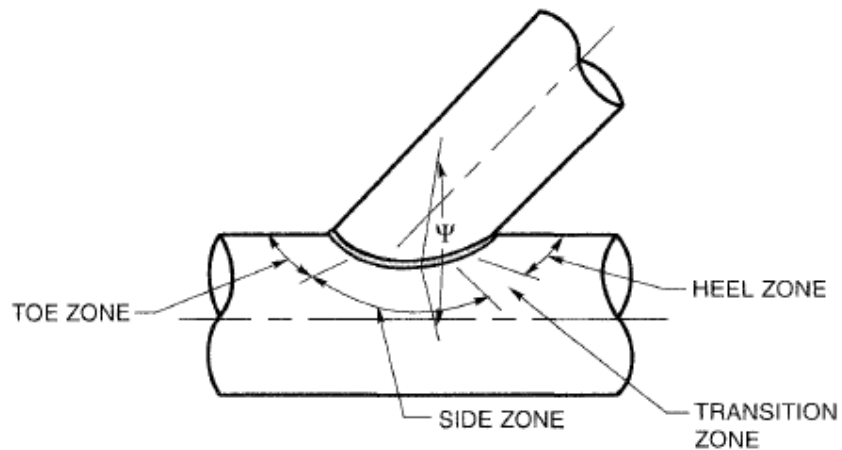
2. Parameter Tau adalah ketebalan dari brace dibagi dengan ketebalan dari *chord*. Parameter ini dianggap penting dalam memahami efisiensi dari sambungan *tubular*, sehingga parameter ini digunakan dalam definisi *punching shear*. Bertambahnya nilai tau berbanding lurus dengan harga SCF. Parameter ini juga mempengaruhi keakakuan bending relatif dari *chord* dan *brace*, namun yang utama adalah berpengaruh atas tegangan bending dalam *brace* pada daerah sambungan.
3. Parameter Gamma adalah rasio antara radius atau diameter terhadap ketebalan *chord*. Nilai gamma yang besar menunjukkan *chord* yang lebih fleksibel dan lunak. Gamma muncul dalam persamaan kompatibilitas untuk shell silindris. Nilai SCF akan bertambah seiring dengan bertambahnya nilai gamma.



**Gambar 2.2** Simple joint dan Multi-planar joint (Lee dan Dexter, 2004)

### 2.2.3 Desain Sambungan Las

Perpotongan antara dua hingga lebih dari *tubular joint* membentuk suatu sambungan, dimana konsentrasi tegangan terjadi didekat/berada disambungan tersebut. Sambungan tersebut disambung dengan teknik pengelasan. Biasanya antar tubular joint disambung dengan jenis sambungan *fillet joint* dan jenis lasan toe *fillet weld*. Dimana toe *fillet weld* dapat menyambungkan dua tubular joint yang akan dilas.

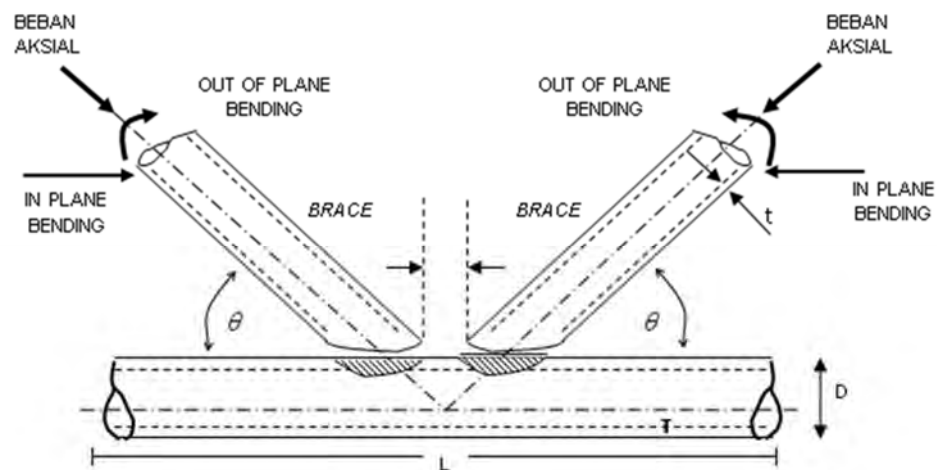


**Gambar 2.3** Sambungan dengan jenis lasan *toe fillet weld*

#### 2.2.4. Pembebanan Dasar

Dalam penentuan nilai SCF pembebanan sangat berpengaruh termasuk pembebanan dasar pada *tubular joints* yaitu:

1. Beban aksial, beban yang bekerja pada sumbu o-x (searah dengan sumbu brace)
2. Beban in-plane bending, beban momen yang bekerja pada bidang x-z (searah sumbu chord)
3. Beban out-of plane bending beban momen yang bekerja pada bidang x-y (tegak lurus dengan sumbu chord)



**Gambar 2.4** Mode pembebanan Pada Sambungan Tubular

### 2.2.5 Tegangan Nominal

Menggunakan kisaran tegangan nominal ( $\Delta\sigma_n$ ) yang ditentukan oleh perhitungan sederhana berdasarkan pada kekuatan sederhana teori bahan (Akhlaghi, 2009). Penentuan nilai kelelahan berdasarkan tegangan nominal telah digunakan oleh aturan desain selama bertahun-tahun (Syahroni & Berge, 2010). Tegangan nominal adalah tegangan yang berasal dari model *simple beam* atau dari *coarse mesh* pada model FEM.

### 2.2.6 Hot-Spot Stress

HSS adalah stres di wilayah penekanan paling tinggi dalam sebuah struktur dan diperkirakan mencirikan kelelahan pada struktur tubular joint tersebut. HSS umumnya terjadi pada suatu diskontinuitas, seperti daerah dibawah daerah pengelasan (weld), di mana inisial kelelahan retak diharapkan mulai dari daerah ini. Saat ini ada dua definisi yang menginterpretasikan untuk HSS:

1. HSS Lokal: didefinisikan sebagai puncak mengelas stres di kaki,. Definisi ini menggabungkan efek stres nominal, geometrik stres dan stres lokal. Hal penting untuk dicatat bahwa HSS lokal adalah tergantung pada geometri weld lokal.
2. Geometris HSS: ini didefinisikan sebagai geometris puncak stres pada kaki weld.

Tegangan hot spot adalah lokasi di sambungan tubular dimana terjadi tegangan tarik/tekan maksimum. Ada tiga tipe tegangan dasar yang menyebabkan munculnya hot spot (becker, et al., 1970 ) :

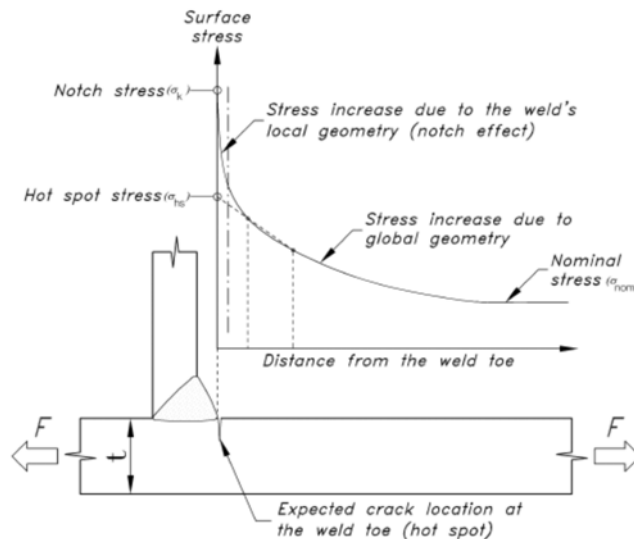
1. tipe A, disebabkan oleh gaya-gaya aksial dan momen-moment yang merupakan hasil dari kombinasi frame dan truss jacket.
2. tipe B disebabkan detail-detail sambungan struktur seperti geometri sambungan yang kurang memadai, variasi kekakuan yang bervariasi disambungan dan lain-lain.
3. tipe C, disebabkan oleh faktor metalurgis yang dihasilkan dari kesalahan pengelasan, seperti undercut, porosity, dan lain-lain.



### 2.2.7 Penentuan Tegangan *Hot-Spot* Dengan Metode Elemen Hingga

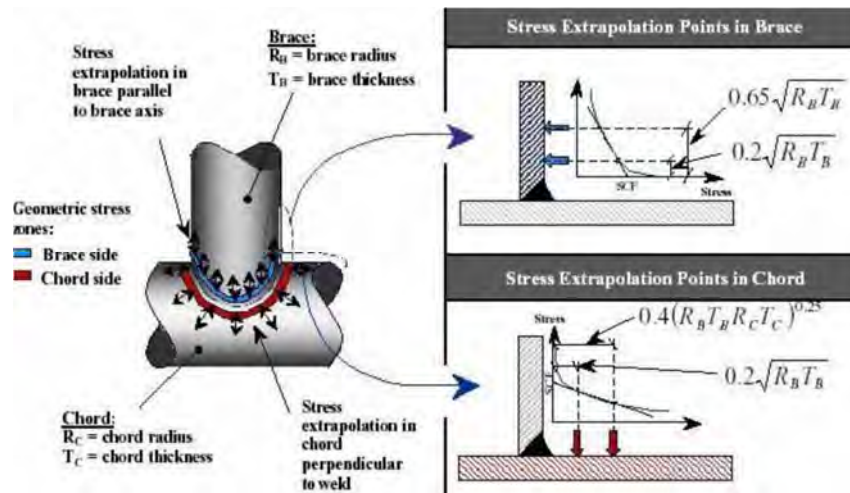
Menganalisa sambungan las untuk menemukan tegangan *hot-spot* tidak mudah untuk struktur yang detail. Pada hasilnya, metode elemen hingga digunakan untuk menentukan tegangan *hot-spot* pada struktur yang detail (Aklaghi, 2009). Prinsip metode elemen hingga dan konsep metode tegangan *hot-spot* diperlukan untuk memberikan hasil yang lebih akurat. Kisaran keakuratan hasilnya naik sampai dengan  $\pm 10\%$  (Niemi & Marquis, 2003).

Untuk menentukan tegangan *hot-spot*, analisa linier elastis digunakan. Material yang digunakan dianggap sama. Model solid atau *shell* dapat digunakan. Tipe elemen dan ukuran *mesh* yang digunakan harus sesuai dengan formasi yang dapat mendefinisikan pusat tegangan pada *weld toe*. Berbagai tegangan yang terjadi pada sambungan las termasuk tegangan *hot-spot* yang dapat ditentukan menggunakan metode elem hingga ini. Berikut gambar berbagai tegangan yang terjadi pada sambungan las :



**Gambar 2.5** Berbagai tegangan yang terjadi pada *weld toe*  
(Aklaghi,2009)

Mencari tegangan *hot-spot* menggunakan ekstrapolasi linier. Ekstrapolasi harus digunakan pada titik interseksi antar tubular daripada titik pada *weld toe*. Berikut gambar Ekstrapolasi liner pada sambungan tubular:



**Gambar 2.6** Prosedur Ekstrapolasi linier pada tubular joint  
(Haghpahani M dan Pirali H, 2006)

### 2.2.8 Stress Concentration Factor (SCF)

Faktor Konsentrasi Tegangan atau *Stress Concentration Factor* (SCF) merupakan perbandingan antara tegangan *hot spot stress* dan tegangan nominal pada *brace* (Gibsten, 1985), secara sistematis dinyatakan dengan :

$$SCF = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Besarnya Faktor Konsentrasi Tegangan (*SCF*) untuk tiap sambungan akan berbeda tergantung pada geometrinya dan Faktor Konsentrasi Tegangan (*SCF*) ini merupakan parameter terhadap kekuatan sambungannya. Konsentrasi tegangan menggambarkan suatu kondisi dimana telah terjadi tegangan lokal yang tinggi akibat dari geometri sambungan tersebut, sehingga dibutuhkan keakuratan yang tinggi dalam penentuan nilai tegangan *hot spot* atau nilai Faktor Konsentrasi Tegangan (*SCF*) untuk jenis sambungan yang berbeda.

Sedangkan SCF digunakan untuk menggambarkan perbandingan antara tegangan sembarang titik di interseksi dengan tegangan nominal pada brace  $SCF_b$  dan  $SCF_c$  masing-masing juga merupakan fungsi dari tegangan nominal brace. Beberapa pendekatan empirik untuk menentukan besaran SCF pada *brace* dan *chord* telah dilakukan. Pada tugas akhir ini validasi *range* parameter SCF pada

multiplanar tubular joint double K akan divalidasikan dengan *range* parameter SCF eftyimou pada simple K joint. Parameter SCF Eftyimou simple K joint:

$$\beta = 0.2 - 1, \zeta(\text{gap}) = -0.6 \beta \sin \theta - 1, \tau = 0.2 - 1, \gamma = 8 - 32, \alpha(\text{length}) = 8 - 40. \quad \theta = 20-90 \text{ derajat}$$

### 2.2.9 Metode Elemen Hingga

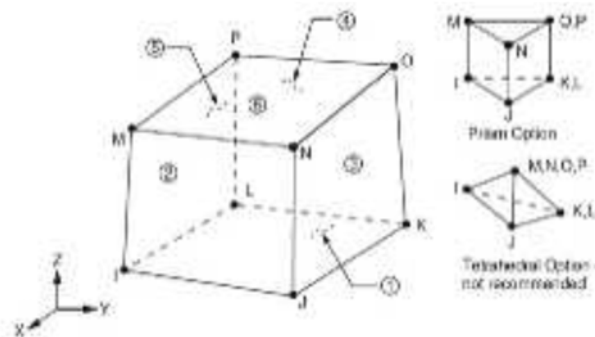
Dalam melakukan perhitungan untuk mencari tegangan *hot-spot* dengan metode elemen hingga, diperlukan untuk memodelkan model elemen hingga tersebut. Dalam analisa kali ini, model elemen hingga dimodelkan menggunakan perangkat lunak ANSYS Static Structural. Dalam memodelkan pada Ansys Static Structural, diperlukan penggunaan elemen dan ukuran mesh yang sesuai agar hasil yang didapatkan valid. Menurut Murthy, dkk (2004), pemilihan elemen untuk analisa suatu sambungan *tubular* tergantung pada geometri *joint* di bawah kondisi pembebanan aktual dan tujuan apa yang ingin dicapai. Elemen *shell* bisa digunakan untuk model *tubular joint* tanpa *crack*, namun *weld* tidak dapat dimodelkan. Sedangkan dengan elemen *shell* tipis dapat diperlihatkan tegangan pada *chord*. Pada *tubular joint*, sebaiknya digunakan elemen solid untuk lebih mendekati kondisi yang sebenarnya. Elemen solid ini memiliki tiga titik pada arah ketebalannya.

Struktur *jacket* yang terdiri dari *chord* dan *brace* adalah suatu sistem yang terdiri dari banyak elemen *space frame*. Elemen *space frame* sebenarnya adalah gabungan dari dua macam elemen, yaitu elemen *truss* dan *beam*. Elemen *truss* adalah elemen yang akan mengalami pembebanan dan lendutan pada arah aksial (pada arah sumbu elemen) sedang elemen *beam* akan mengalami pembebanan, lendutan momen ke arah lateral. Elemen *chord* dan *brace* akan mengalami pembebanan dari segala arah (aksial dan lateral) dalam ruang sehingga elemen *chord* dan *brace* tersebut akan mengalami lendutan dan momen ke segala arah pula. Jadi pendekatan model elemen yang baik untuk elemen *chord* dan *brace* ini adalah gabungan elemen *truss* dan *beam* dalam koordinat global tiga dimensi. Elemen tiga dimensi yang umum dipakai adalah berbentuk tetrahedral atau hexahedral (batu bata). Jenis elemen ini hanya dipakai jika kita menginginkan analisis tegangan

secara tiga dimensi. Pembebanan untuk pemodelan *tubular joint* tersebut berkerja pada ketebalan *member* untuk masing-masing arah koordinat global tiga dimensi.

## ELEMEN SOLID

Elemen ini digunakan untuk pemodelan 3 dimensi, struktur solid. Didefinisikan dengan 8 nodes dan memiliki 3 DOF pada tiap node translasi x,y dan z. Elemen memiliki kapasitas untuk analisa *plasticity*, *hyperelasticity*, *stress stiffening*, *creep*, *large deflection* dan *large strain*



**Gambar 2.7** Elemen Solid (ANSYS Help, 2016)

## MESHING

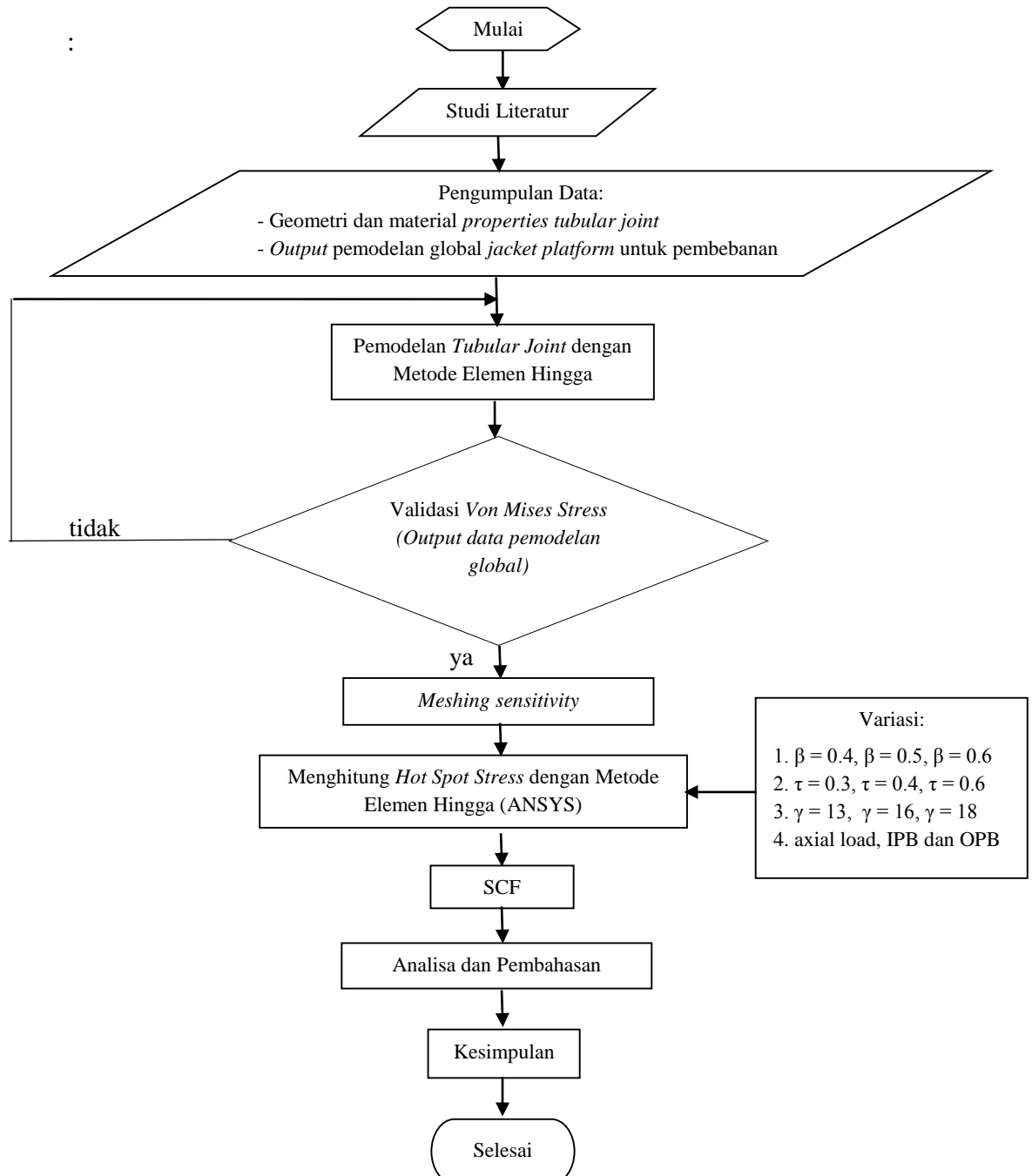
Untuk efisiensi pada titik *read out* dari tegangan elemen dan awal tegangan *hot-spot*, densitas *mesh* dari txt dimana t adalah ketebalan pelat adalah pada umumnya menentukan lokasi *hot-spot* Ukuran *mesh* yang lebih besar pada lokasi *hot-spot* akan menjadi hasil yang tidak konservatif. Dari ukuran *mesh* yang dianjurkan, dibuatlah *meshing sensitivity* untuk tiap elemen. Setelah *meshing sensitivity*, didapatkan ukuran *mesh* yang efisien untuk menentukan tegangan yang dicari. Ukuran *mesh* yang efisien dilihat dari tegangan yang dihasilkan semakin konstan

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian Tugas Akhir ini digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut



**Gambar 3.1** Diagram alir metode penelitian

### 3.2 Prosedur Penelitian

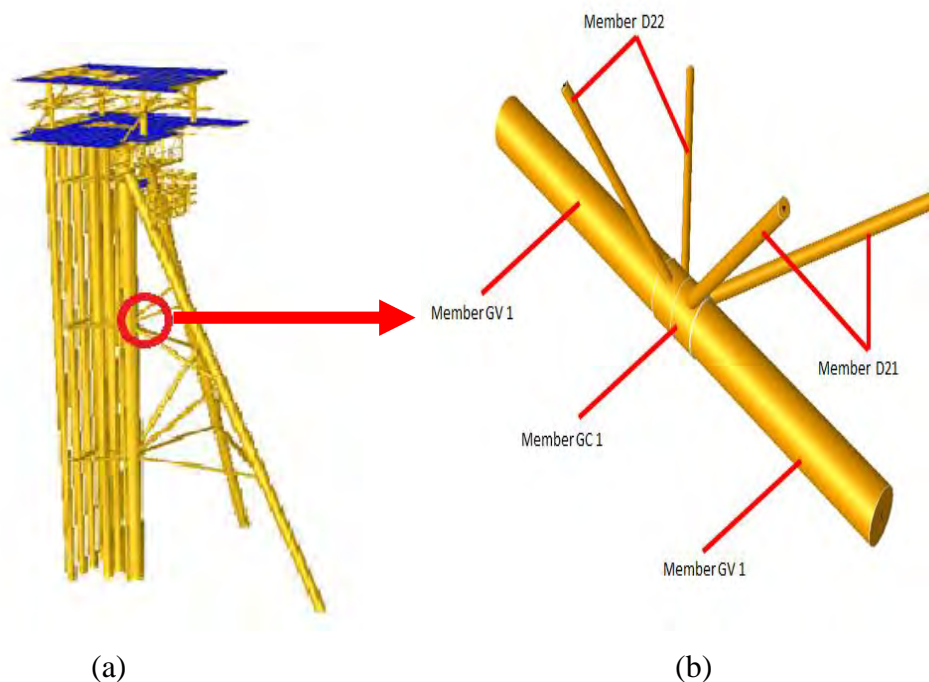
Prosedur dan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Studi literatur

Literatur yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah penelitian tugas akhir sebelumnya dan jurnal-jurnal serta buku-buku yang berkaitan dengan penelitian ini terutama tentang *hot-spot stress*, dan *stress concentration factor*

#### 2. Pengumpulan data

Struktur yang akan dianalisa dalam Tugas Akhir ini adalah *Multi-planar Tubular Joint* pada kaki *Jacket*. Data yang digunakan dalam analisa lokal ini adalah data geometri struktur, material yang digunakan dan pembebanan yang mengenai struktur tersebut. Data pembebanan didapatkan dari pemodelan global struktur tersebut.



**Gambar 3.2** (a) *Braced Caisson Well Platform* (b) *Multi-planar Tubular Joint*  
(*Double K joint*)

*Tubular Joint* ini merupakan bagian dari *Braced Caisson Well Platform* yang akan dianalisa lokal. Dalam analisa lokal memerlukan geometri struktur dan

pembebanan yang bekerja pada struktur tersebut. Data geometri, material dan pembebanan semuanya di ambil dari struktur global tersebut.

- a. Geometri struktur *Multi-planar Tubular Joint* meliputi:

**Tabel 3.1** Geometri *Multi-planar Tubular Joint*

	<i>Thickness (t)</i> (in)	<i>Outside Diameter (OD)</i> (in)	<i>Inside Diameter (ID)</i> (in)	<i>Length (L)</i> (in)
<i>Chord GC1</i>	2,25	64,5	60	84
<i>Chord GV1</i>	0,75	61	59,5	366
<i>Brace D21</i>	0,75	18	16,5	435,3
<i>Brace D22</i>	0,5	14	13	288

- b. Material Struktur *Multi-planar Tubular Joint*, meliputi:

**Tabel 3.2** *Material Properties* pada *Multi-planar Tubular Joint*

	<i>Spec &amp; Grade</i>	<i>Yield Strength</i> $\sigma_y$ (ksi)	<i>Mod Young E</i> (ksi)	<i>Shear Modulus G</i> (ksi)	<i>Poisson's Ratio v</i>
<i>Chord GC1</i>	API 2H Grade 50	50	29	11,6	0,3
<i>Chord GV1</i>	API 2H Grade 50	50	29	11,6	0,3
<i>Brace</i>	API 2H Grade 50	50	29	11,6	0,3

- c. Pembebanan pada Struktur *Multi-planar Tubular Joint*

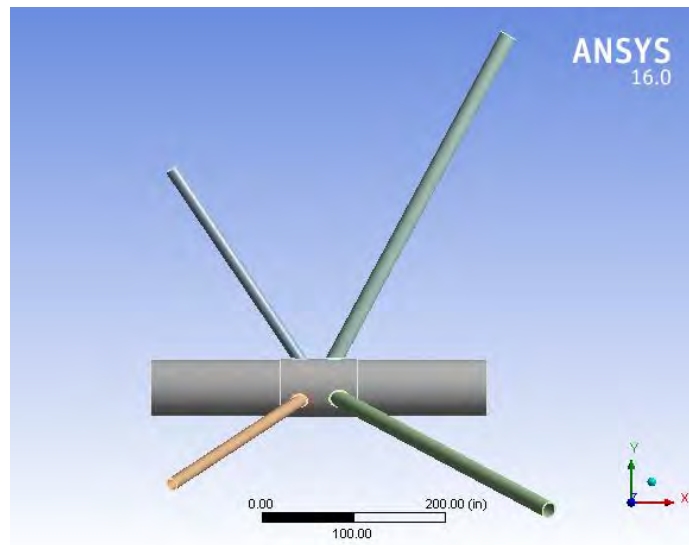
Pembebanan yang mengenai struktur *Multi-planar Tubular Joint* menggunakan data dari pemodelan global struktur *Jacket Platform* dengan seluruh beban (beban struktur dan beban lingkungan)

**Tabel 3.3** *Moment dan Force pada multi-planar tubular joint*

Member	Moment (lbf-in)			Axial Force (lbf)
	x	Y	z	X
D21(1)	-1563.46	-209.538	-235.149	1.6112
D21(2)	-1505.88	-281.247	-256.265	1.9784
D22(1)	3488.494	-327.613	434.4285	-2.5941
D22(2)	-2822.04	322.5139	-502.712	1.3267

### 3. Pemodelan dengan Metode Elemen Hingga pada ANSYS

Struktur *Multi-planar Tubular Joint* dimodelkan secara menyeluruh menggunakan *software* ANSYS. Model awal ini menggunakan data material dan pembebanan yang sesuai dengan pemodelan global seperti pada tabel 3.2 dan tabel 3.3. Untuk batas tumpuan yang digunakan pada ujung-ujung chord menggunakan *pinned-end*

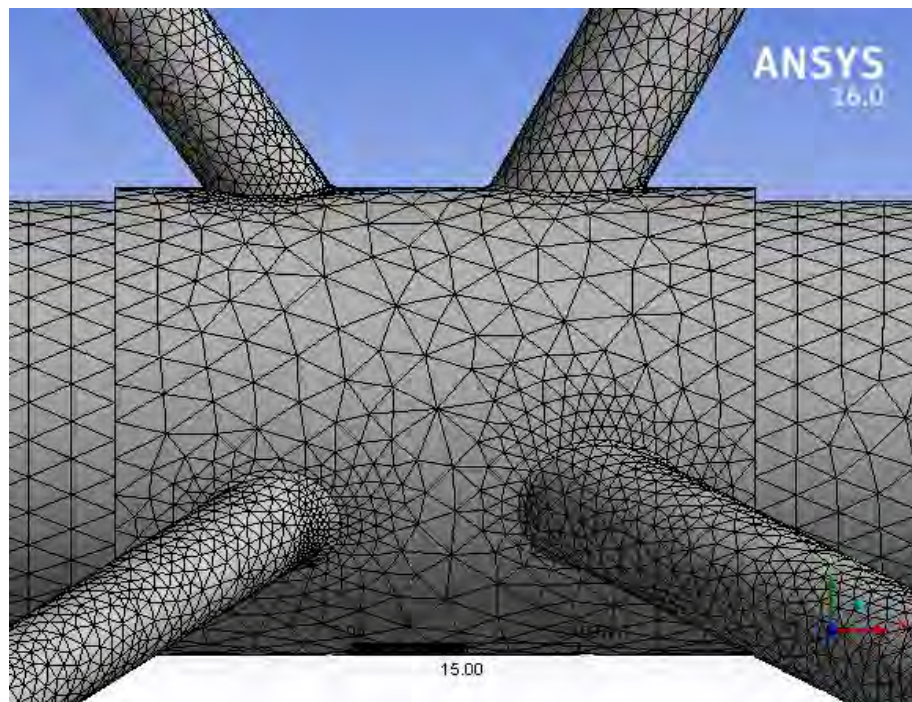


**Gambar 3.3** Model *Multi-planar Tubular Joint Double K*

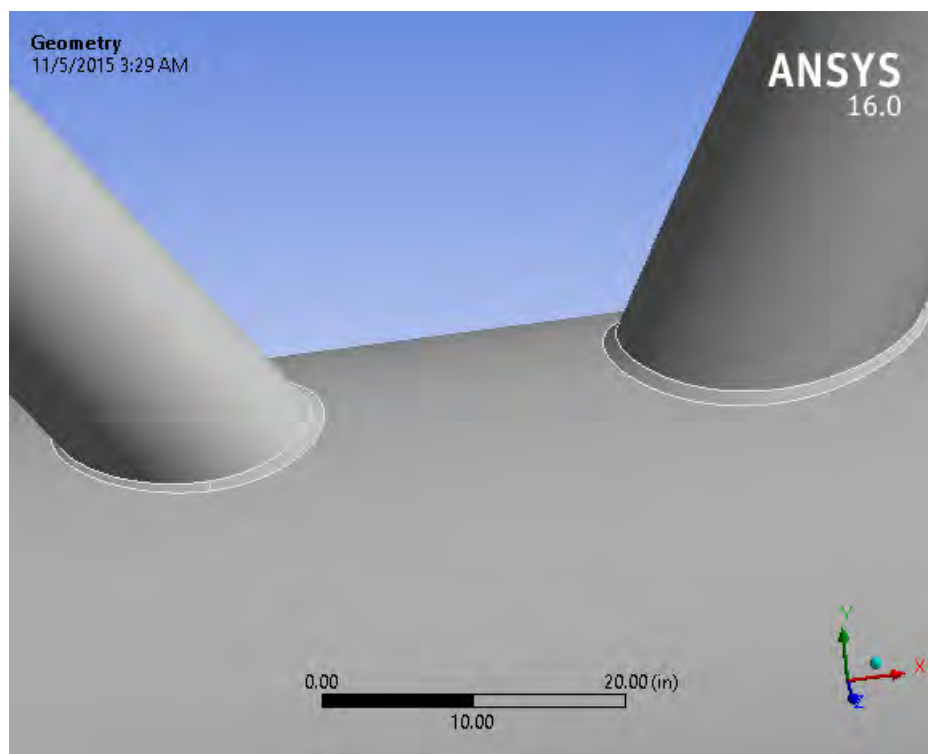
Untuk mendapatkan tegangan yang sesuai, diperlukan pemodelan sambungan las dengan kerapatan *meshing* yang lebih halus. Pemodelan sambungan las diperlukan karena perpotongan antara dua tubular akan membentuk suatu sambungan, dimana konsentrasi tegangan terjadi didekat/ berada disambungan tersebut. Sambungan tersebut disambung dengan teknik pengelasan. Biasanya antar sambungan tubular disambung dengan jenis sambungan fillet joint dan jenis lasan



fillet weld. Pada pemodelan las ini menggunakan las dengan bentuk *toe fillet* dengan ukuran 0.625 inch di setiap sisi sambungan antar tubularnya.



**Gambar 3.4** Mesh pada *Multi-planar Tubular Joint*



**Gambar 3.5** Model Sambungan Las

#### 4. Variasi Parameter

Pada struktur *multiplanar tubular joint double* k ini akan divariasikan dengan beberapa parameter, yaitu parameter beta, tau dan gamma. Berikut variasi tiap-tiap parameter

**Tabel 3.4 Variasi Parameter Beta**

Diameter Chord (in)	Diameter Brace (in)		Parameter Beta	
	D 21	D 22		
64.5	22	20	0.34	0.31
64.5	28	26	0.43	0.40
64.5	35	32.5	0.54	0.50

**Tabel 3.5 Variasi Parameter Tau**

Ketebalan Chord (in)	Ketebalan Brace (in)		Parameter Tau	
	D 21	D 22		
2.25	1	0.75	0.4	0.3
2.25	1.25	1	0.5	0.4
2,25	1.5	1.25	0.6	0.5

**Tabel 3.6 Variasi Parameter Gamma**

Diameter Chord (in)	Ketebalan Chord (in)	Parameter Gamma
64.5	2.5	13
64.5	2	16
64.5	1.75	18

#### 5. Meshing Sensitivity

Untuk efisiensi pada titik *read out* dari tegangan elemen dan awal tegangan *hot-spot*, densitas *mesh* dari txt dimana t adalah ketebalan pelat adalah pada umumnya menentukan lokasi *hot-spot*. Untuk 20-node elemen, ukuran *mesh* yang

digunakan dari  $t/2$  sampai  $t$ . Ukuran *mesh* yang lebih besar pada lokasi *hot-spot* akan menjadi hasil yang tidak konservatif.

#### 6. Validasi *Nominal Stress*

Dengan pemodelan lokal tersebut maka didapatkan distribusi tegangan nilai *nominal stress* yaitu tegangan rata-rata yang dikenai beban merata pada suatu member dan berada jauh dari tegangan *hotspot*. Tegangan *nominal* pada analisa lokal ini berupa tegangan von mises yang akan divalidasikan dengan tegangan von mises pada tegangan global. Tegangan nominal pada analisa lokal menggunakan *probe stress* yang ada pada ANSYS 16.

Pengertian *von mises* sendiri adalah tegangan gabungan (equivalent) antara *shear stress* dan *axial stress* terhadap semua arah bidang element dengan pendekatan matriks. Validasi yang baik presentase erornya harus seminimal atau sekecil mungkin agar model lokal mendekati model yang sebenarnya. Von mises dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_e = \frac{1}{2} \sqrt{[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{xz}^2)]} \quad (3.1)$$

**Tabel 3.7** *Von Mises Stress* (ksi) pada Struktur *Multi-planar Tubular Joint*

Global Analysis (ksi)	Local Analysis (ksi)	Ratio
1270.018	1268.6	0.11%

#### 7. Menghitung faktor konsentrasi tegangan

Setelah diketahui tegangan nominal dan tegangan *hotspotnya*, rumus faktor konsentrasi tegangan adalah,

$$SCF = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_n} \quad (3.2)$$

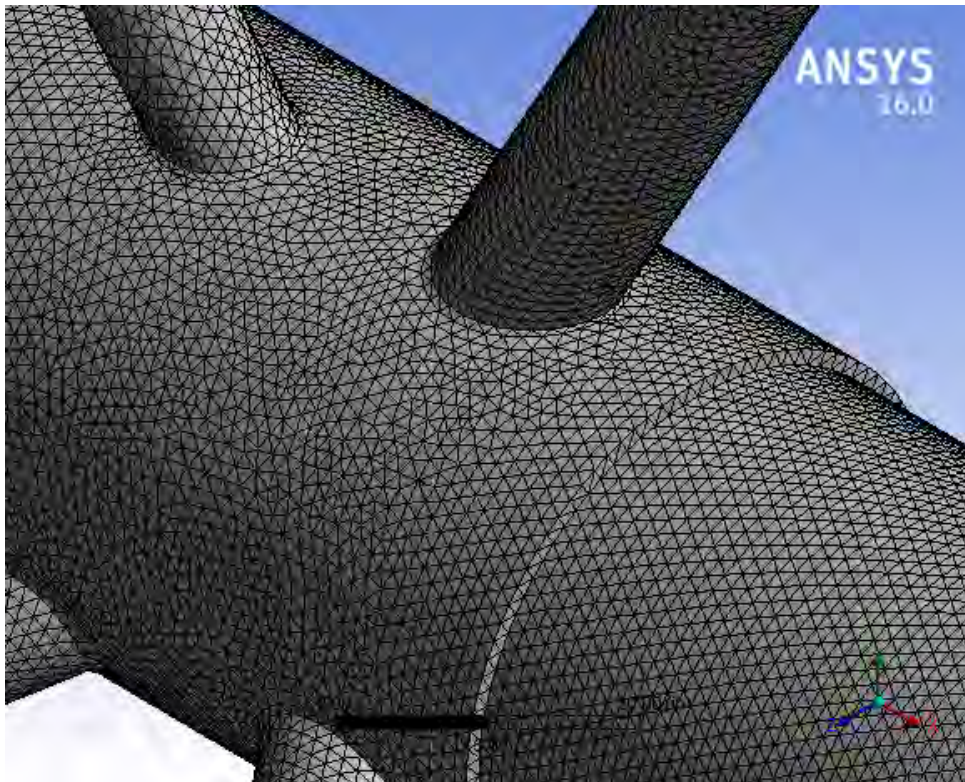
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemodelan Elemen Hingga

Dalam memodelkan tubular joint ini menggunakan solid element yang ada pada software autocad 3D. Sudut kemiringan pada brace sesuai dengan data yang ada di global dan juga memodelkan sambungan las diantara sambungan brace dan chord dan di import dalam format .acis agar bisa dilanjutkan analisis pada Ansys. Setelah di import ke ansys kemudian dilakukan meshing. Pada saat melakukan meshing bisa memilih dengan cara default atau otomatis, bisa juga dengan mengatur ukuran kecilnya pada setiap brace atau chord. Meshing pada bagian kampuh las dilakukan *inflashing* hasil lebih terkonsentrasi pada bagian kampuh las tersebut.



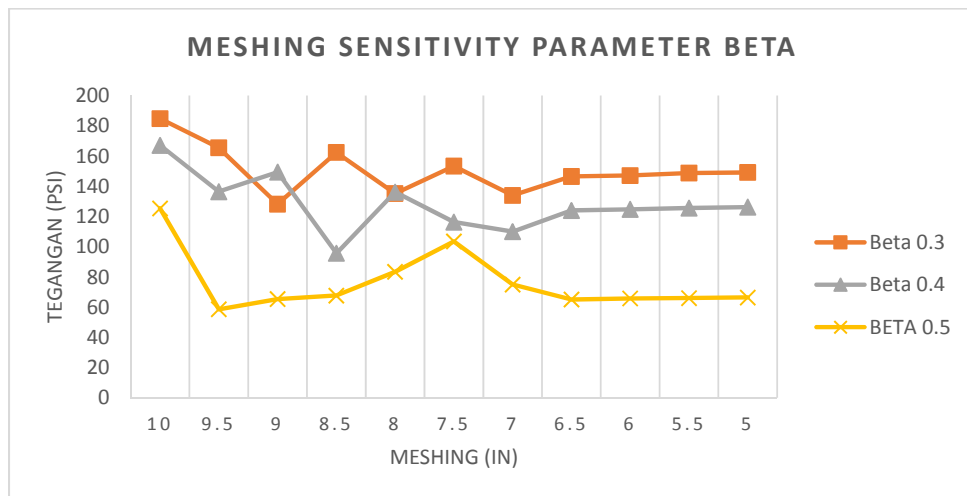
**Gambar 4.1.** Model Meshing pada tubular joint.

Setelah meshing selesai dan terlihat hasil yang smooth, maka dilakukan pembebanan pada brace dan chord, untuk chord diasumsikan dia menggunakan

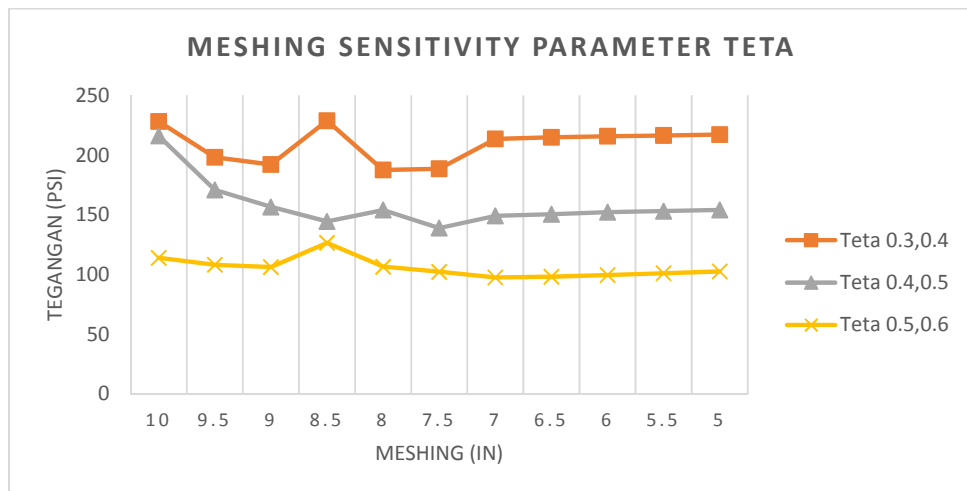
support *pinned end* jadi dianggap tidak ada beban dari arah yang sejajar dengan chord. Pembebanan bisa menggunakan aksial tekan, *in-plane bending*, dan *out of* pada brace, in plane bending dan juga out plane bending.

#### 4.2 Analisa Sensitivitas (*Meshing Sensitivity*)

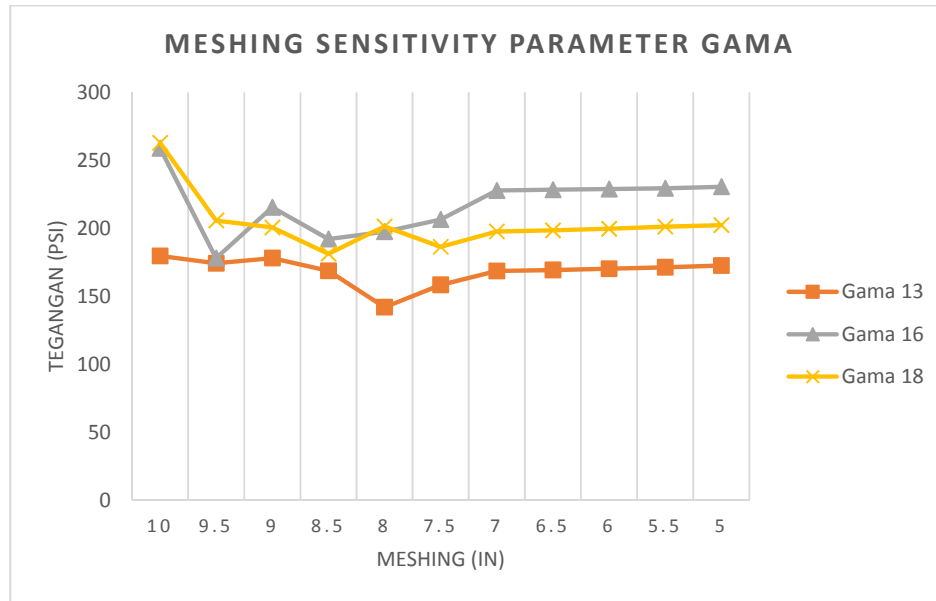
Analisa *meshing sensitivity* dilakukan untuk mengukur keakuratan *output* dari pemodelan ANSYS akibat dari jumlah elemen yang digunakan. Analisa menggunakan nilai pembebanan yang sama namun divariasikan terhadap jumlah elemen. Pada model tubular joint, *meshing sensitivity* dilakukan dengan memvariasikan jumlah elemen dengan nilai pembebanan yang sama. Berikut adalah hasil *meshing sensitivity* pada model tubular joint double k.



**Gambar 4.2.** Grafik hasil *meshing sensitivity* parameter Beta



**Gambar 4.3.** Grafik hasil *meshing sensitivity* parameter Teta



**Gambar 4.4.** Grafik hasil *meshing sensitivity* parameter Gama

Dari hasil *plotting*, menunjukkan nilai tegangan *output* hasil running ANSYS stabil pada kisaran ukuran *meshing* 6.5 in untuk parameter beta sedangkan untuk parameter teta dan gama ukuran *meshing* 7 in.

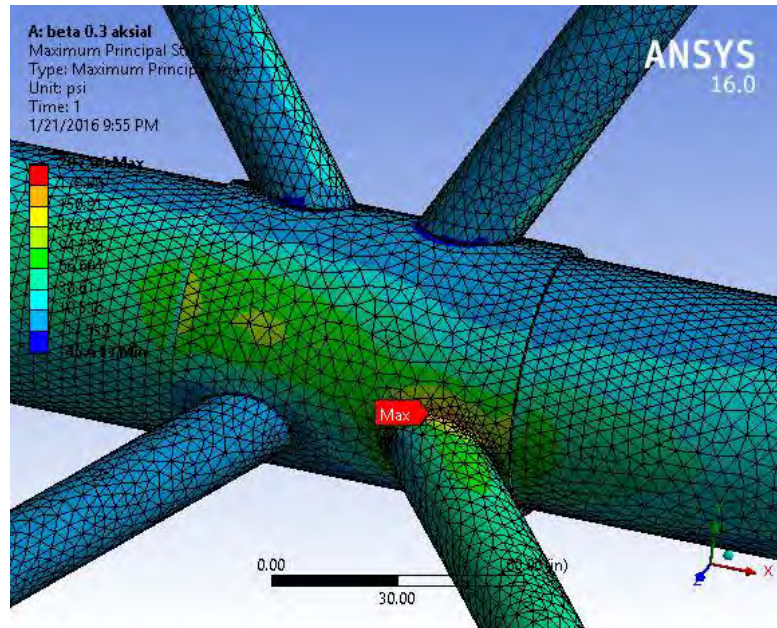
### 4.3 Hasil Tegangan Hotspot Pada Variasi $\beta$

Dalam penelitian kali ini, pemodelan divariasikan pada parameter tubular joint double K. Variasi parameter  $\beta$  adalah perbandingan ketebalan brace dengan ketebalan chord, variasi yang digunakan adalah  $\beta = 0.3$ ,  $\beta = 0.4$ ,  $\beta = 0.5$ . Tegangan yang dihasilkan yaitu tegangan *hotspot* akibat beban aksial, tegangan *hotspot* akibat beban *bending* dan tegangan *hotspot* akibat beban aksial dan beban *bending*.

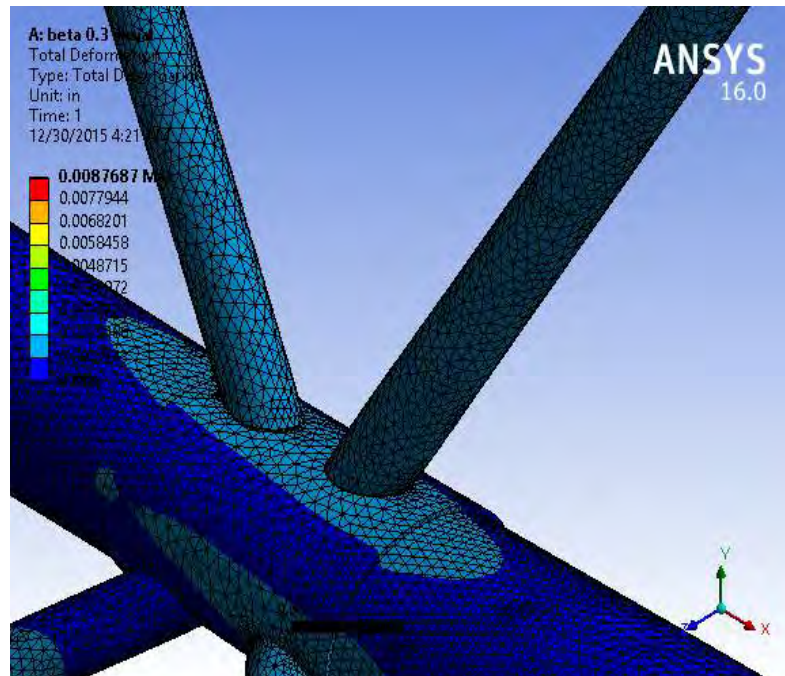
#### 4.3.1 Beban Aksial

Beban yang diberikan gaya aksial tekan pada keempat brace sesuai dengan data global pada struktur tersebut, dan pada bagian ujung chord diberikan *pinned support*. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *Maximum Principal Stress*. Pengertian *maximum principal stress* sendiri adalah tegangan yang cenderung digunakan struktur dengan beban siklis atau berulang-ulang.





**Gambar 4.5** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial

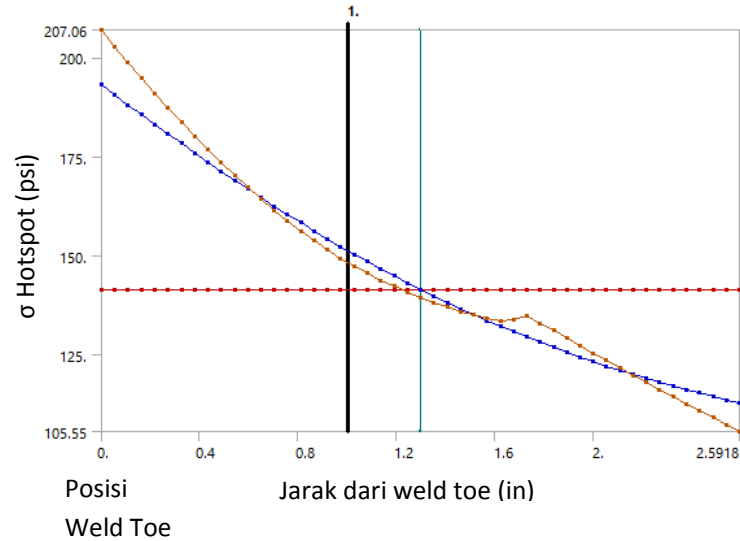


**Gambar 4.6** Deformasi yang terjadi pada saat diberikan beban aksial

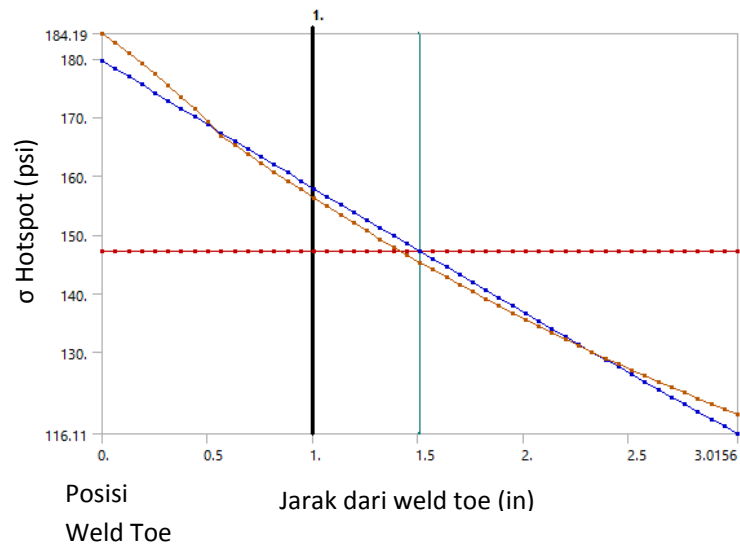
Tegangan maksimum yang terjadi pada output *maximum principal stress* dijadikan sebagai ekstrapolasi linier untuk menentukan tegangan *hotspot* pada brace dan chord. Sedangkan tegangan nominal ditemukan pada titik dimana tegangan yang dihasilkan konstan. Tegangan nominal ini didapatkan dari *probe stress* di



ANSYS pada daerah sambungan member yang menjadi *hotspot stress* tersebut. Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada brace dan chord;



**Gambar 4.7** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban aksial



**Gambar 4.8** Ekstrapolasi linier pada chord karena beban aksial

Pada gambar dia atas menunjukkan untuk sumbu y yaitu tegangan *maximum principal stress* dengan besaran psi dan untuk sumbu x adalah jarak dari tegangan maksimum. Pada grafik dia atas yang berwarna biru yang berada di titik 0 merupakan tegangan *hotspot* pada brace maupun chord. Untuk penjabaran hasil tegangan *hotspot* pada brace dan chord variasi  $\beta$  akan diuraikan pada lampiran D.

Setelah tegangan *hotspot* dan tegangan nominal didapatkan, lalu mencari faktor konsentrasi tegangan yang didapatkan dari,

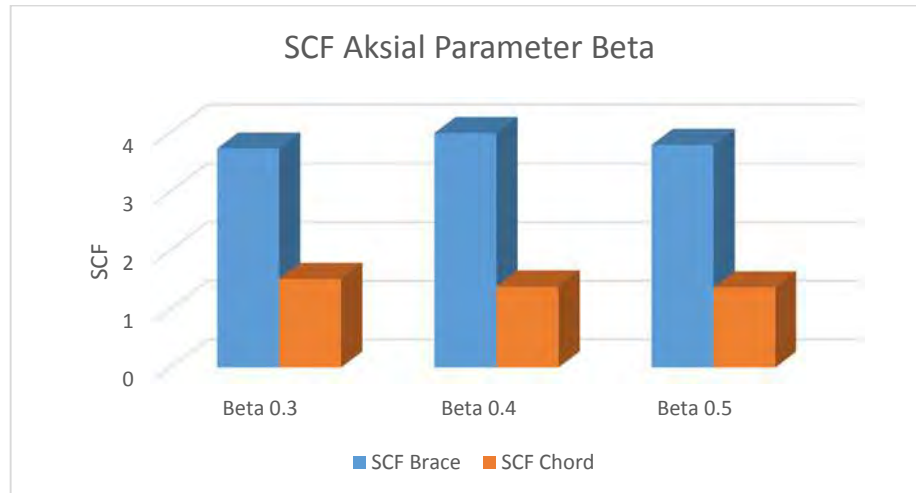
$$SCF = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_n} \quad (4.1)$$

Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada brace dan chord:

Tabel 4.1 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\beta$  dengan beban aksial

Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF Brace
Beta 0.3	193.16	0.00876	51.811	3.728165834
Beta 0.4	161.27	0.00756	40.403	3.991535282
Beta 0.5	125.54	0.00567	33.115	3.791031255
Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF Chord
Beta 0.3	179.65	0.00876	118.72	1.513224394
Beta 0.4	124.3	0.00756	89.74	1.385112547
Beta 0.5	112.61	0.00567	82.247	1.36916848

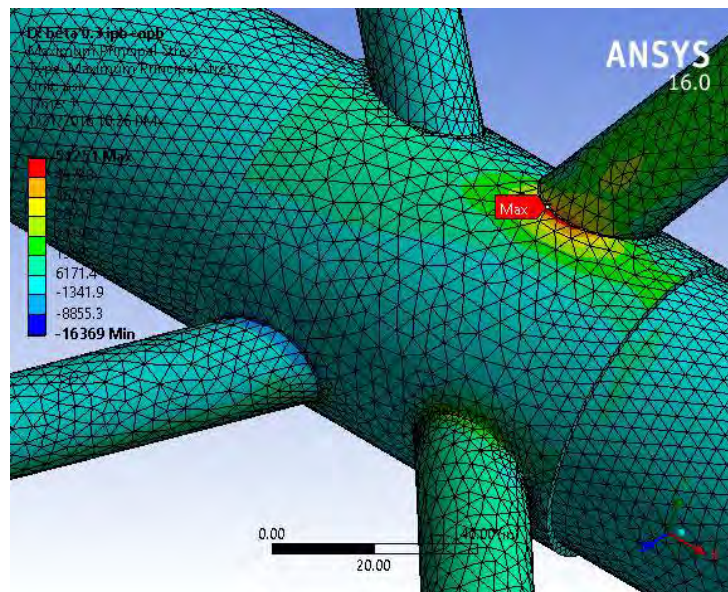
Dari tabel 4.1 didapatkan hasil tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada setiap variasi beta. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada brace dan chord. Dari variasi tersebut nilai terkecil pada setiap tegangan *hotspot*, deformasi dan tegangan nominal pada beta 0.5 untuk nilai tegangan *hotspot* brace 125.54 psi, chord 112.61 psi, total deformasi 0.00876 inch, tegangan nominal brace 33.115 psi, chord 82.247 psi, dan nilai SCF terkecil pada brace terdapat pada beta 0.3 dengan nilai 3.72 dan pada chord terdapat pada beta 0.5 dengan nilai 1.36.



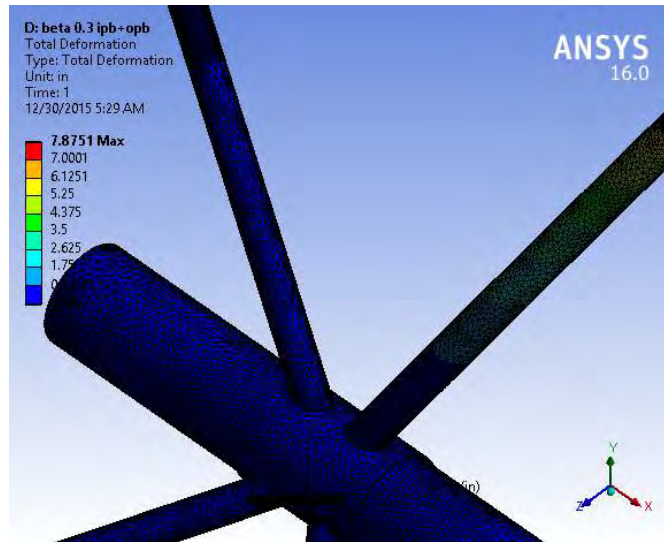
**Gambar 4.9** Nilai SCF pada variasi  $\beta$  dengan beban aksial

#### 4.3.2 Beban Bending

Beban yang diberikan berupa *in plane bending* dan *out of plane bending*, tegangan tersebut didapatkan dari tegangan moment tiap sumbu pada pemodelan global. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *Maximum Principal Stress*. Berikut hasil pembebanan bending pada *multiplanar tubular joint double k*.

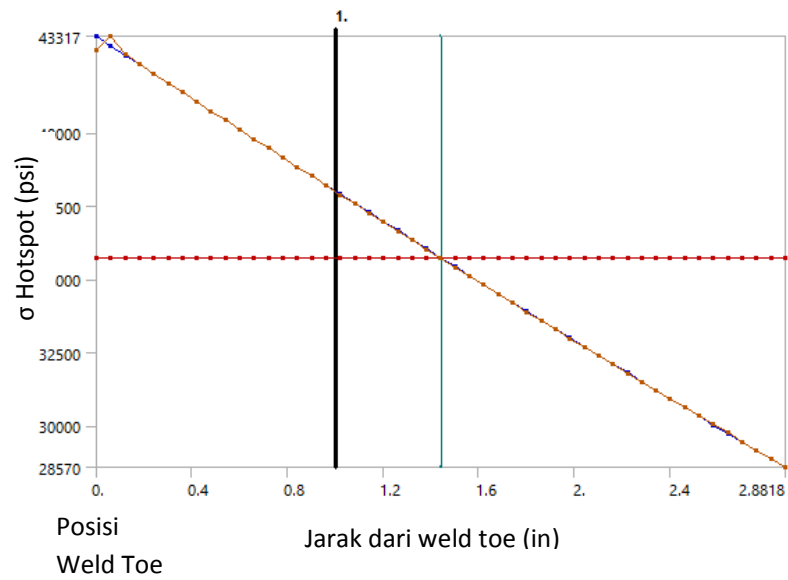


**Gambar 4.10** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

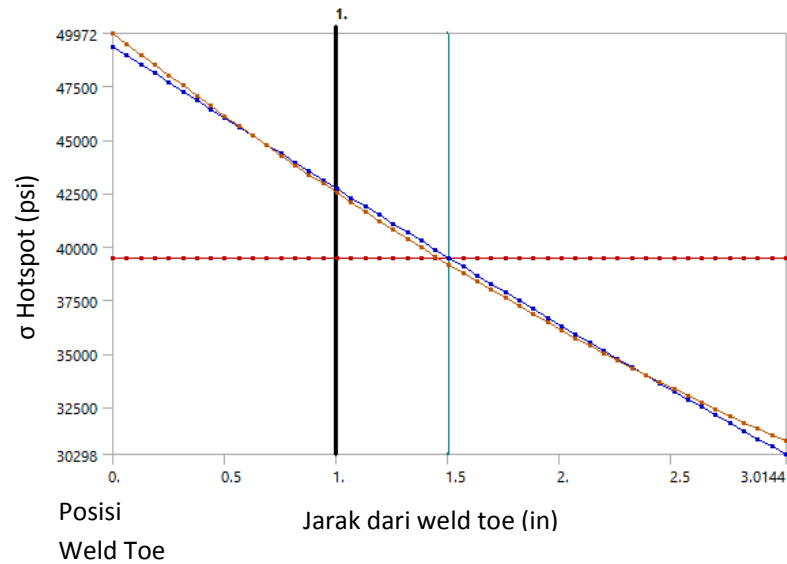


**Gambar 4.11** Deformasi terjadi saat diberikan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada brace dan chord;



**Gambar 4.12** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban bending



**Gambar 4.13** Ekstrapolasi linier pada chord karena beban bending

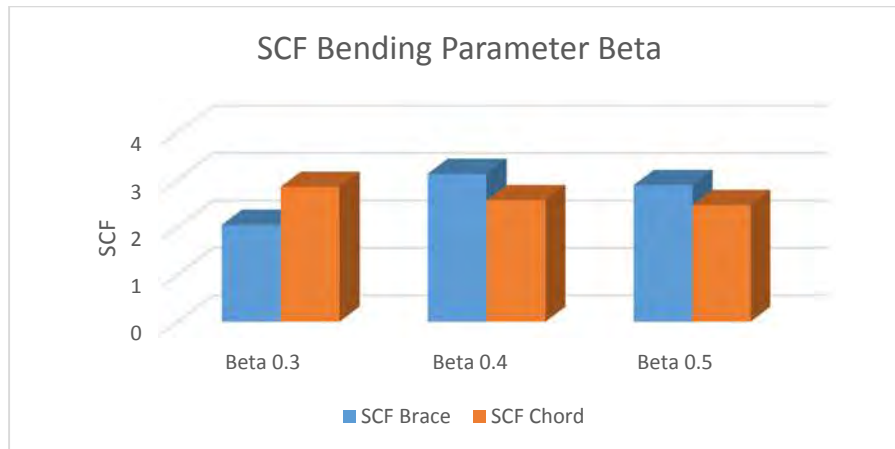
Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada brace dan chord:

Tabel 4.2 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\beta$  dengan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Beta 0.3	43312	7.8751	21111	2.051631851
Beta 0.4	39830	4.454	12749	3.124166601
Beta 0.5	24319	2.6873	8427.6	2.885637667
Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Beta 0.3	49363	7.8751	17323	2.849564163
Beta 0.4	37617	4.454	14653	2.567187607
Beta 0.5	25793	2.6873	10457	2.466577412

Dari tabel 4.2 didapatkan hasil tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada setiap variasi beta. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada brace dan chord. Dari variasi tersebut nilai terkecil pada setiap tegangan *hotspot*, deformasi dan tegangan nominal pada beta 0.5 untuk nilai tegangan *hotspot* brace 24319 psi, chord 25793 psi, total deformasi 2.6873 inch, tegangan nominal brace 8427.6 psi, chord 10457

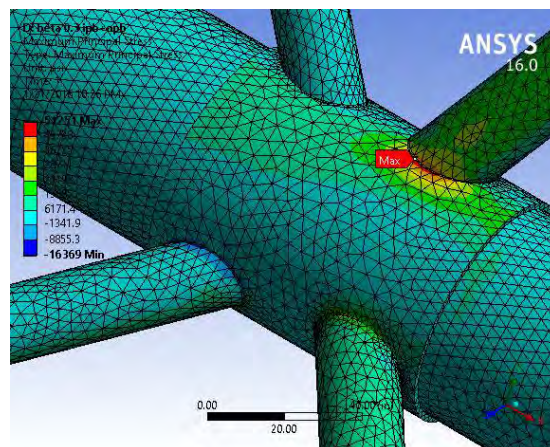
psi, dan nilai SCF terkecil pada brace terdapat pada beta 0.3 dengan nilai 2.05 dan pada chord terdapat pada beta 0.5 dengan nilai 2.46.



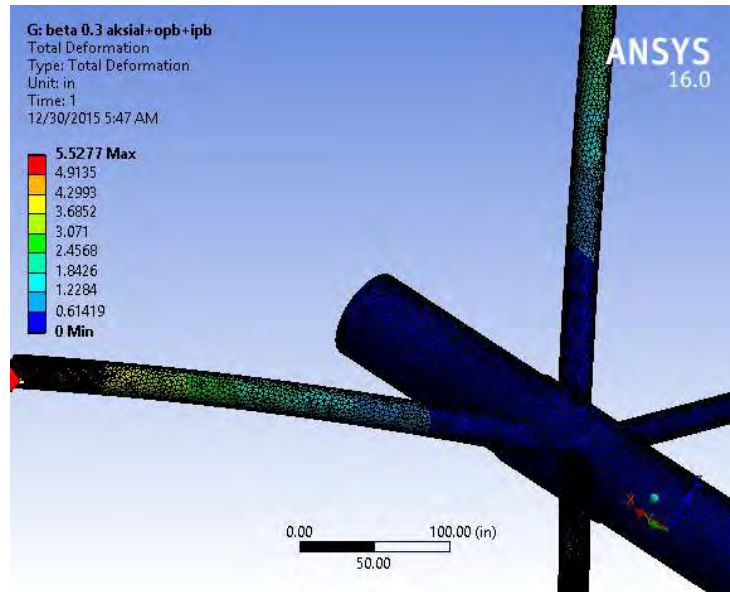
**Gambar 4.14** Nilai SCF pada variasi  $\beta$  dengan beban *In Plane Bending* dan *Out of Plane Bending*

#### 4.3.3 Beban Kombinasi Aksial dan Bending

Beban yang diberikan berupa tegangan gabungan dari tegangan aksial dan tegangan bending yang berupa *in plane bending* dan *out of plane bending*, tegangan tersebut didapatkan dari tegangan aksial dan tegangan moment tiap sumbu pada pemodelan global. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *Maximum Principal Stress*. Berikut hasil pembebanan bending pada *multiplanar tubular joint double k*.

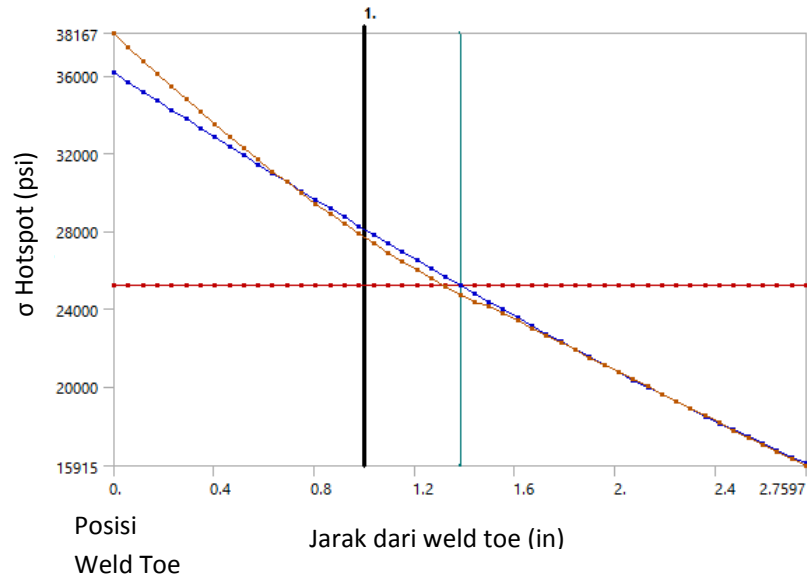


**Gambar 4.15** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

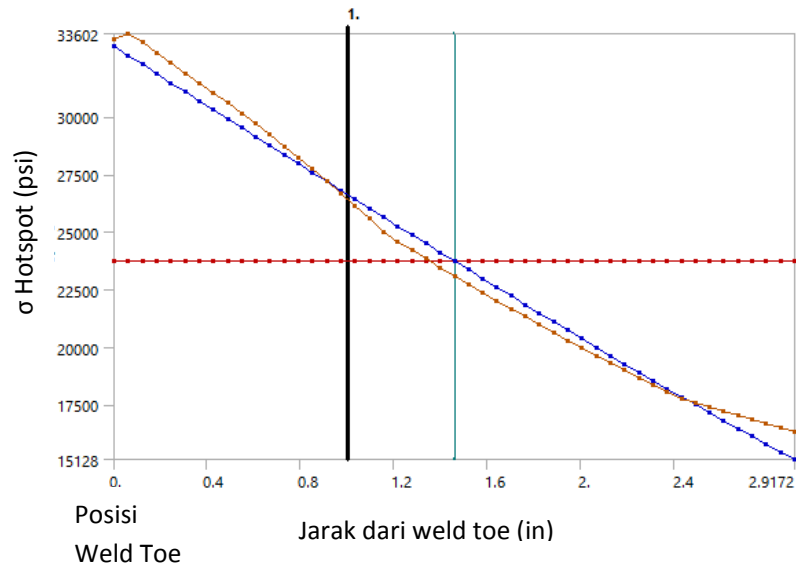


**Gambar 4.16** Deformasi terjadi saat diberikan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada brace dan chord;



**Gambar 4.17** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan bending



**Gambar 4.18** Ekstrapolasi linier pada chord karena beban kombinasi aksial dan bending

Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada brace dan chord:

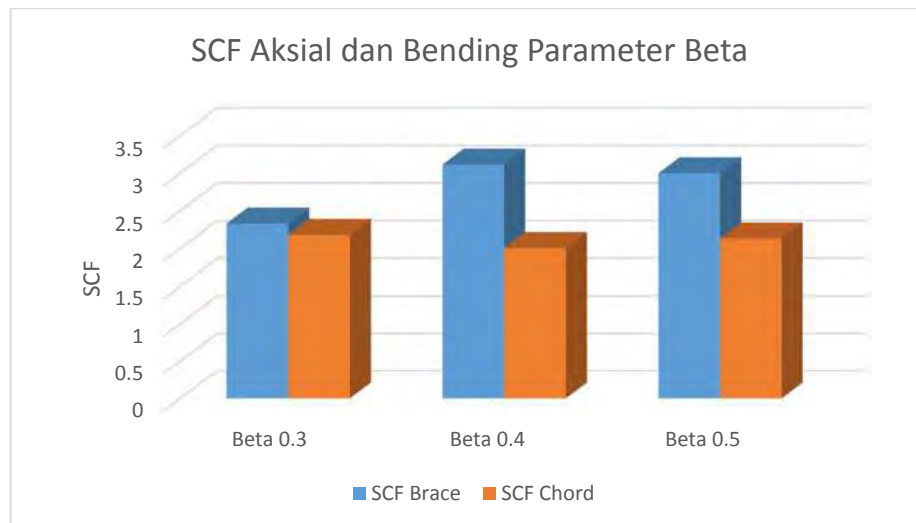
Tabel 4.3 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\beta$  dengan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	HotSpot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Beta 0.3	36115	5.5277	15492	2.331203202
Beta 0.4	39663	5.0296	12729	3.115955692
Beta 0.5	25246	3.1721	8411.6	3.001331495
Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	HotSpot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Beta 0.3	33052	5.5277	15147	2.182082261
Beta 0.4	34286	5.0296	17101	2.004911993
Beta 0.5	27456	3.1721	12876	2.132339236

Dari tabel 4.3 didapatkan hasil tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada setiap variasi beta. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada brace dan chord. Dari variasi tersebut nilai terkecil pada setiap tegangan *hotspot*, deformasi dan tegangan nominal pada beta 0.5 untuk nilai tegangan *hotspot* brace 25246 psi, chord 27456 psi, total deformasi 3.1721 inch, tegangan nominal brace 8411.6 psi, chord 12876



psi, dan nilai SCF terkecil pada brace terdapat pada beta 0.3 dengan nilai 2.33 dan pada chord terdapat pada beta 0.4 dengan nilai 2.00.



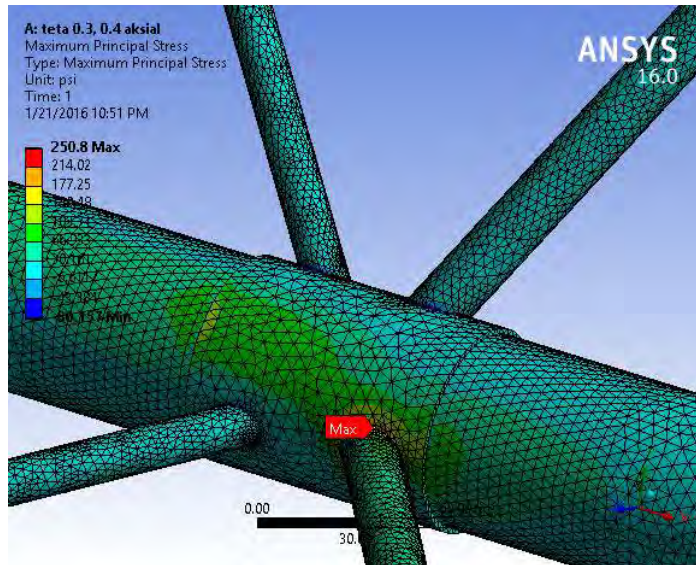
**Gambar 4.19** Nilai SCF pada variasi  $\beta$  dengan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

#### 4.4 Hasil Tegangan Hotspot Pada Variasi $\tau$

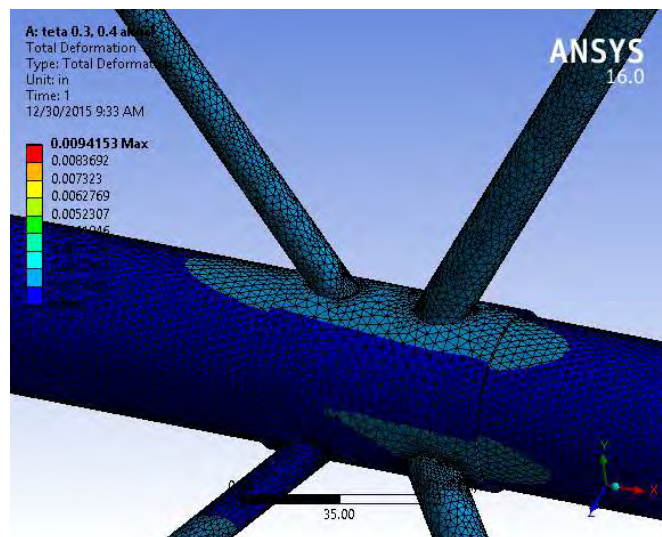
Dalam penelitian kali ini, pemodelan divariasikan pada parameter tubular joint double K. Variasi parameter  $\tau$  adalah perbandingan ketebalan brace dengan ketebalan chord, variasi yang digunakan adalah  $\tau = 0.3$ ,  $\tau = 0.4$ ,  $\tau = 0.5$  untuk Brace D21, dan Variasi  $\tau = 0.4$ ,  $\tau = 0.5$ ,  $\tau = 0.6$  untuk Brace D22. Tegangan yang dihasilkan yaitu tegangan *hotspot* akibat beban aksial, tegangan *hotspot* akibat beban *bending* dan tegangan *hotspot* akibat beban aksial dan beban *bending*.

##### 4.4.1 Beban Aksial

Beban yang diberikan gaya aksial tekan pada keempat brace sesuai dengan data global pada struktur tersebut, dan pada bagian ujung chord diberikan *pinned support*. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *maximum principal stress*. Berikut hasil pembebanan pada multiplanar tubular joint tersebut.



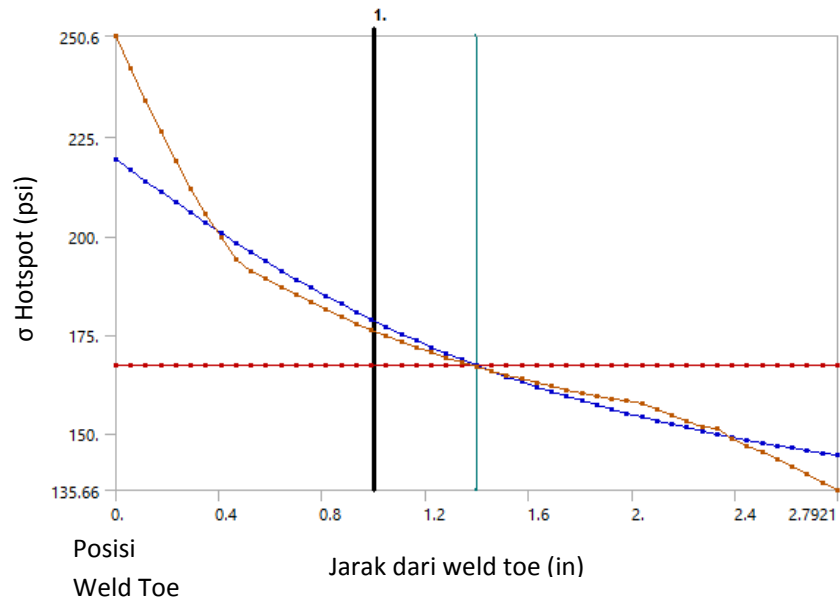
**Gambar 4.20** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial



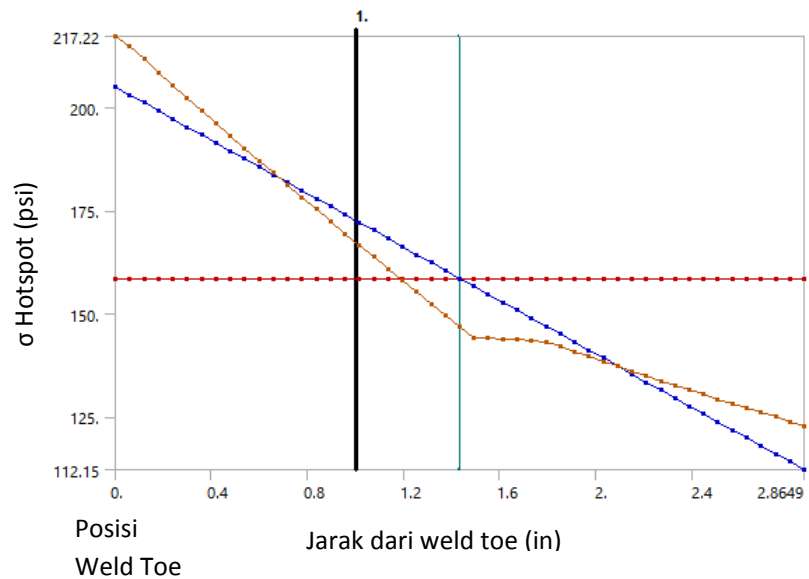
**Gambar 4.21** Deformasi terjadi saat diberikan beban aksial

Tegangan maksimum yang terjadi pada tegangan *maximum principal stress* dijadikan sebagai ekstrapolasi linier untuk menentukan tegangan *hotspot* pada brace dan chord. Sedangkan tegangan nominal ditemukan pada titik dimana tegangan yang dihasilkan konstan.

Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada brace dan chord;



**Gambar 4.22** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban aksial



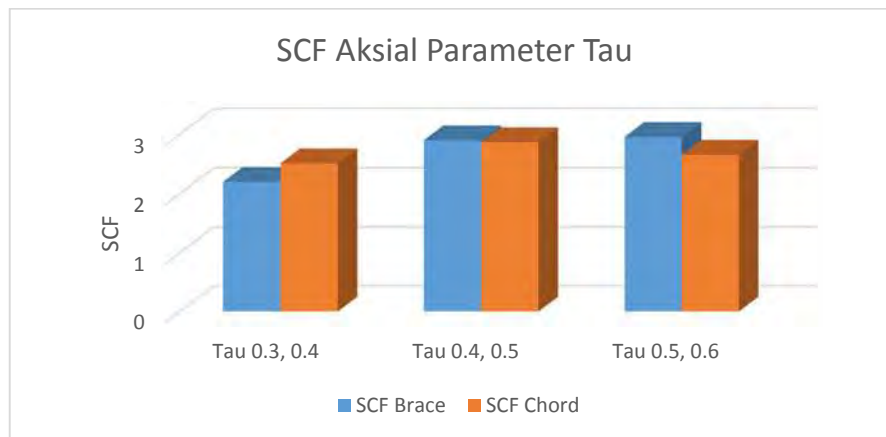
**Gambar 4.23** Ekstrapolasi linier pada chord karena beban aksial

Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada brace dan chord:

Tabel 4.4 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\tau$  dengan beban aksial

Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Tau 0.3, 0.4	219.46	0.009377	48.573	4.518147942
Tau 0.4, 0.5	217.65	0.009271	39.439	5.518649053
Tau 0.5, 0.6	216.78	0.009181	33.364	6.497422371
Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Tau 0.3, 0.4	219.46	0.009377	48.573	4.518147942
Tau 0.4, 0.5	217.65	0.009271	39.439	5.518649053
Tau 0.5, 0.6	216.78	0.009181	33.364	6.497422371

Dari tabel 4.4 didapatkan hasil tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada setiap variasi tau. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada brace dan chord. Dari variasi tersebut nilai terkecil pada setiap deformasi dan tegangan nominal pada tau 0.5,0.6, tetapi tegangan *hotspot* terkecil pada chord terdapat di Tau 0.3,0.4 dan untuk brace pada tau 0.5, 0.6. Untuk nilai tegangan *hotspot* brace 216.78 psi, chord 204.96 psi, total deformasi 0.00981 inch, tegangan nominal brace 33.364 psi, chord 121.91 psi, dan nilai SCF terkecil pada brace dan chord terdapat pada tau 0.3,0.4 dengan nilai 4.55 dan pada chord dengan nilai 1.64.

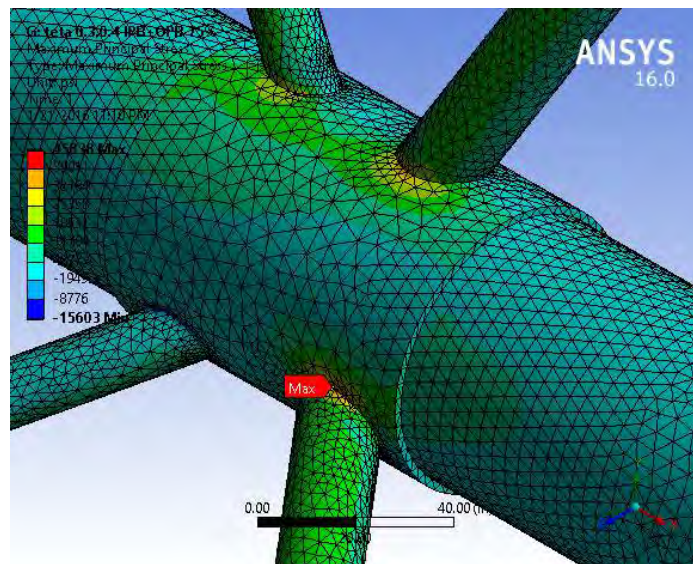


**Gambar 4.24** Nilai SCF pada variasi  $\tau$  dengan beban aksial

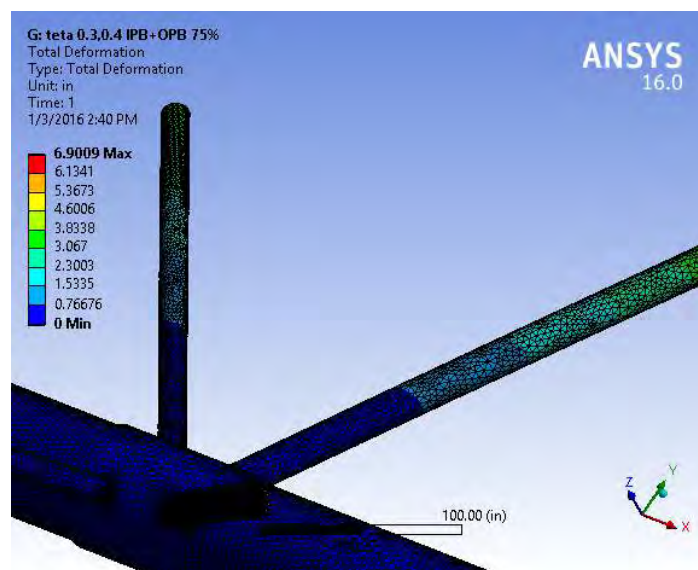
#### 4.4.2 Beban Bending

Beban yang diberikan berupa *in plane bending* dan *out of plane bending*, tegangan tersebut didapatkan dari tegangan moment tiap sumbu pada pemodelan

global. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *Maximum Principal Stress*. Berikut hasil pembebanan bending pada *multiplanar tubular joint double k*.

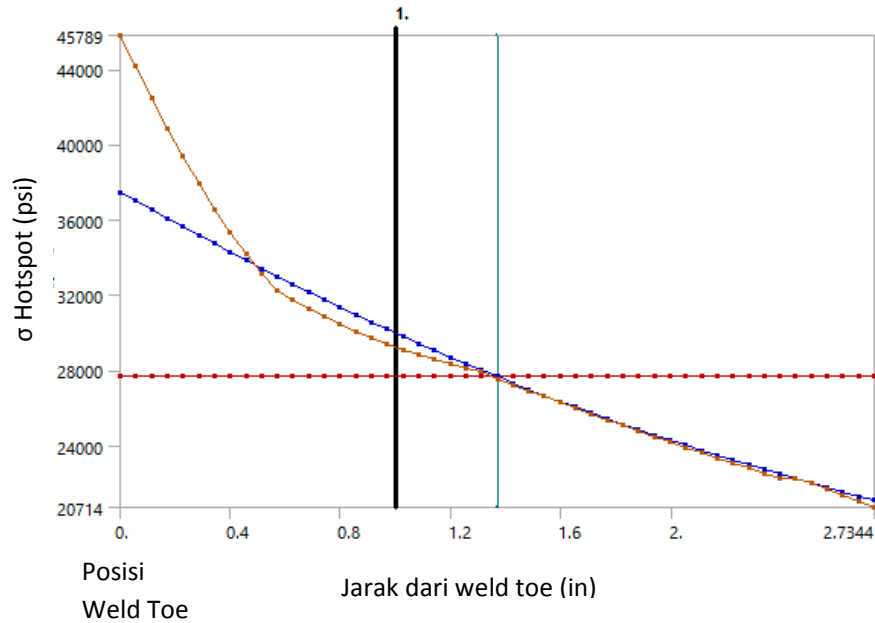


**Gambar 4.25** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

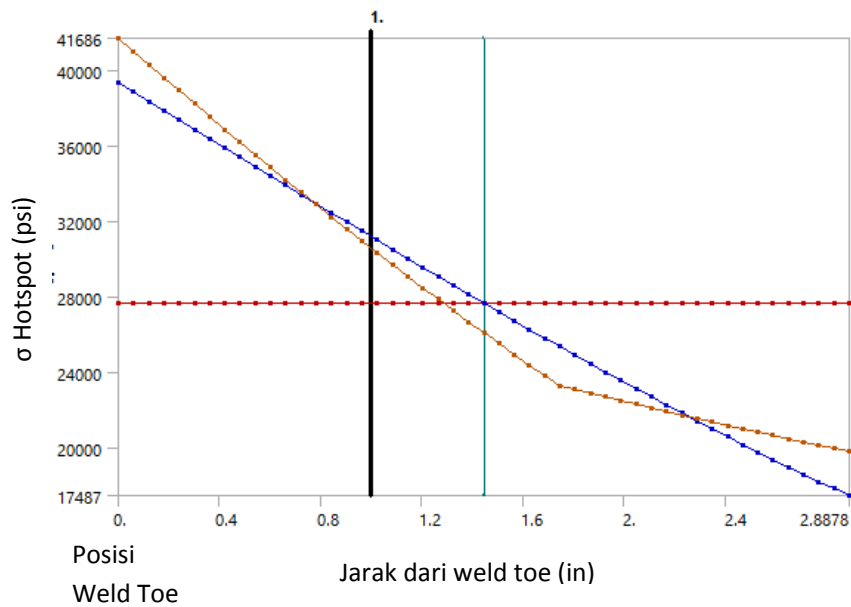


**Gambar 4.26** Deformasi terjadi saat diberikan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada brace dan chord;



**Gambar 4.27** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban bending



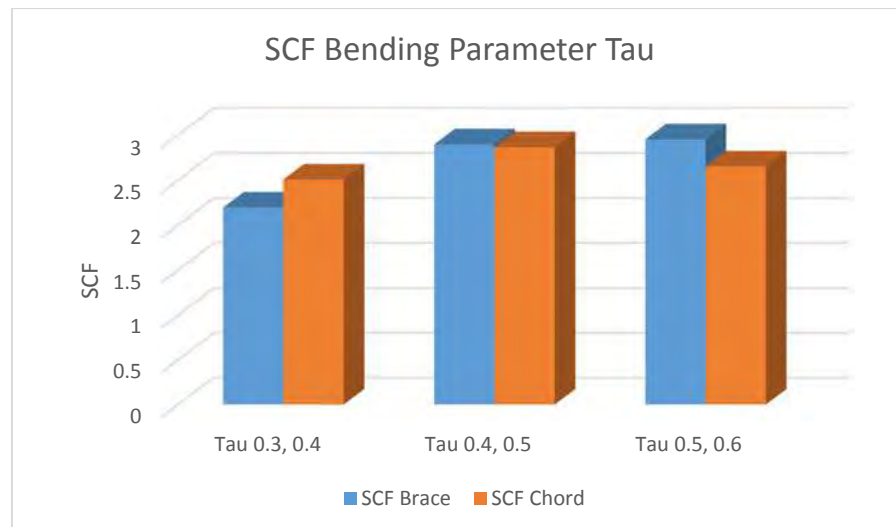
**Gambar 4.28** Ekstrapolasi linier pada chord karena beban bending

Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada brace dan chord;

Tabel 4.5 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\tau$  dengan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Tau 0.3, 0.4	37461	6.9	17049	2.197254971
Tau 0.4, 0.5	36558	6.13	12610	2.899127676
Tau 0.5, 0.6	36462	5.613	12342	2.954302382
Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Tau 0.3, 0.4	39353	6.9	15682	2.509437572
Tau 0.4, 0.5	45099	6.13	15730	2.867069294
Tau 0.5, 0.6	41488	5.613	15632	2.654042989

Dari tabel 4.5 didapatkan hasil tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada setiap variasi tau. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada brace dan chord. Dari variasi tersebut nilai terkecil pada setiap deformasi dan tegangan nominal pada tau 0.5,0.6, tetapi tegangan *hotspot* terkecil pada chord terdapat di Tau 0.3,0.4 dan untuk brace pada tau 0.5, 0.6. Untuk nilai tegangan *hotspot* brace 37461 psi, chord 39353 psi, total deformasi 5.613 inch, tegangan nominal brace 12342 psi, chord 15632 psi, dan nilai SCF terkecil pada brace dan chord terdapat pada tau 0.3,0.4 dengan nilai 2.19 dan pada chord dengan nilai 2.50

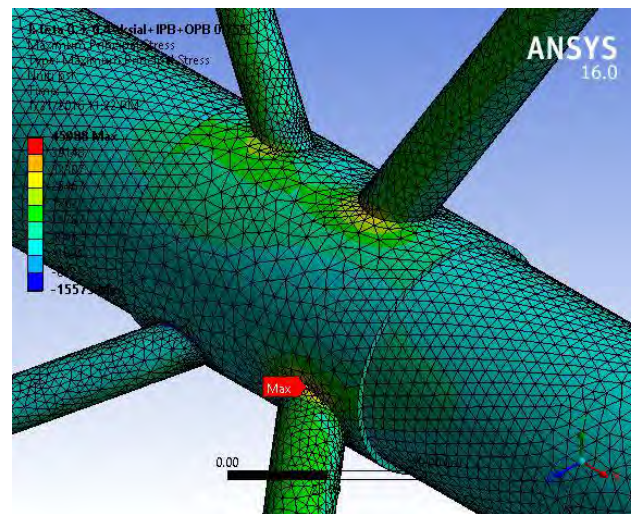


**Gambar 4.29** Nilai SCF pada variasi  $\tau$  dengan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

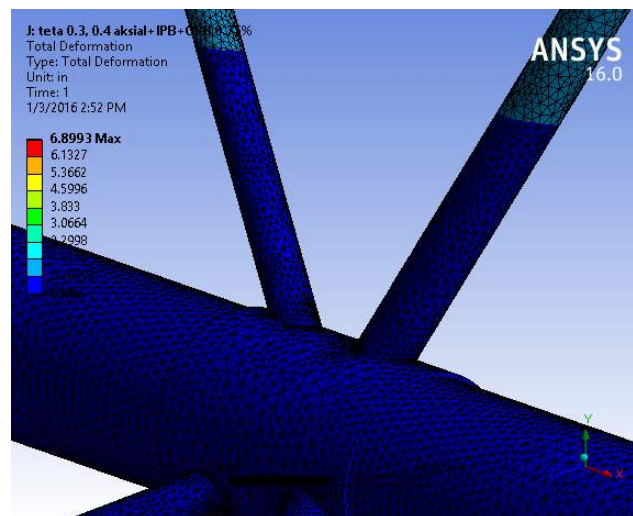


#### 4.4.3 Beban Kombinasi Aksial dan Bending

Beban yang diberikan berupa tegangan gabungan dari tegangan aksial dan tegangan bending yang berupa aksial, *in plane bending* dan *out of plane bending*, tegangan tersebut didapatkan dari tegangan aksial dan tegangan moment tiap sumbu pada pemodelan global. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *Maximum Principal Stress*. Berikut hasil pembebanan bending pada *multiplanar tubular joint double k*.



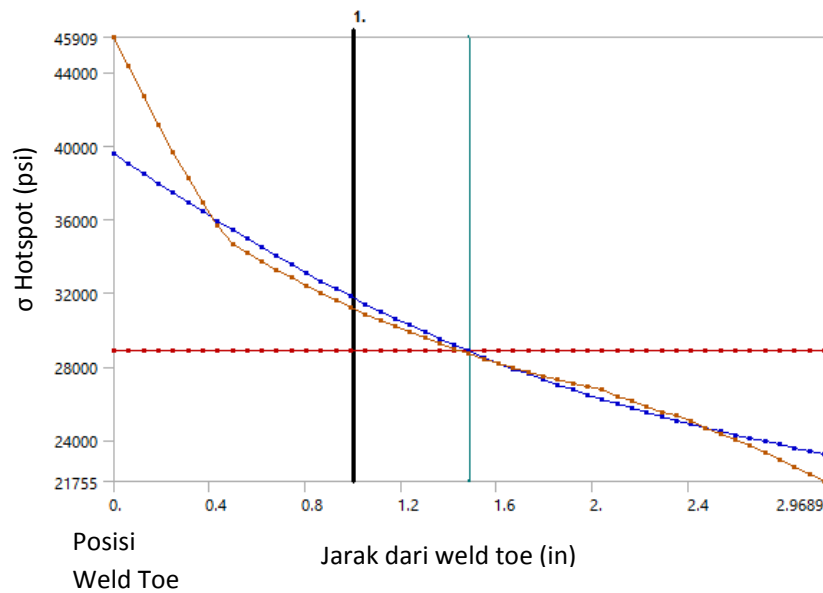
**Gambar 4.30** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*



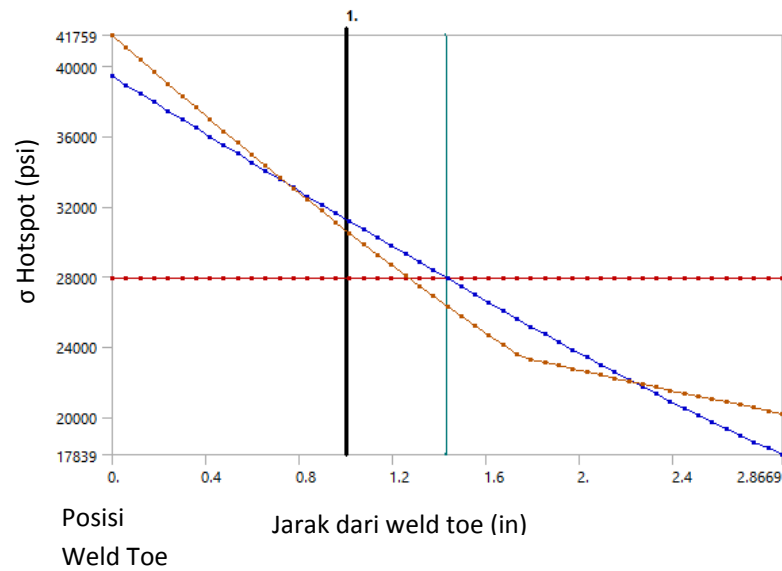
**Gambar 4.31** Deformasi terjadi saat diberikan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*



Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada brace dan chord:



**Gambar 4.32** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan bending



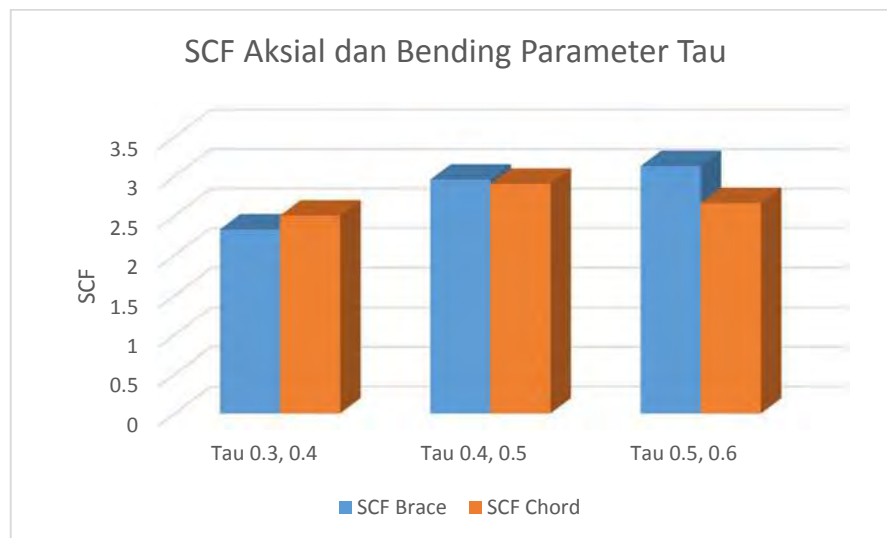
**Gambar 4.33** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan bending

Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada brace dan chord

Tabel 4.6 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\tau$  dengan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Tau 0.3, 0.4	39589	6.899	17015	2.326711725
Tau 0.4, 0.5	37258	6.137	12598	2.957453564
Tau 0.5, 0.6	38677	5.612	12360	3.12920712
Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Tau 0.3, 0.4	39409	6.899	15749	2.502317607
Tau 0.4, 0.5	45623	6.137	15709	2.904258705
Tau 0.5, 0.6	41688	5.612	15669	2.66053992

Dari tabel 4.6 didapatkan hasil tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada setiap variasi tau. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada brace dan chord. Dari variasi tersebut nilai terkecil pada setiap deformasi dan tegangan nominal pada tau 0.5,0.6, tetapi tegangan *hotspot* terkecil pada chord terdapat di Tau 0.3,0.4 dan untuk brace pada tau 0.4, 0.5. Untuk nilai tegangan *hotspot* brace 37258 psi, chord 39409 psi, total deformasi 5.612 inch, tegangan nominal brace 12360 psi, chord 15669 psi, dan nilai SCF terkecil pada brace dan chord terdapat pada tau 0.3,0.4 dengan nilai 2.32 dan pada chord dengan nilai 2.50



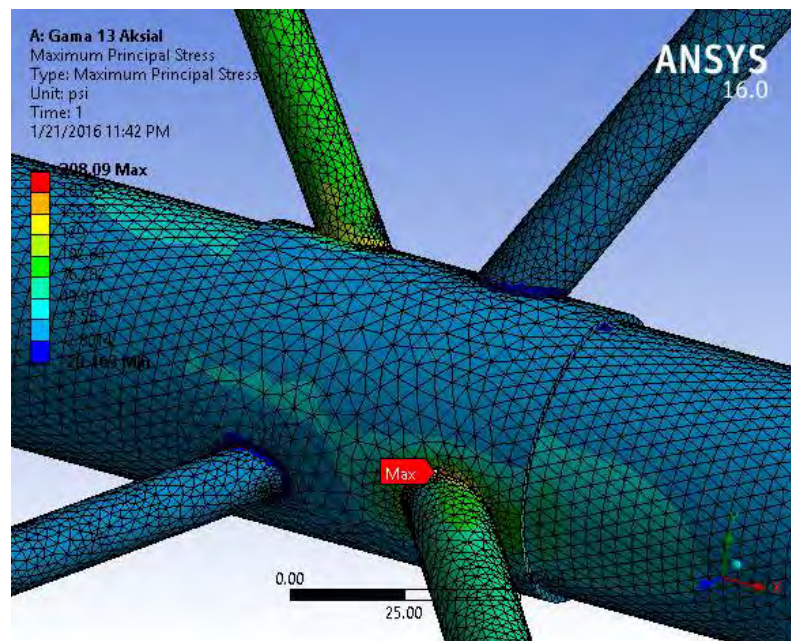
**Gambar 4.34** Nilai SCF pada variasi  $\tau$  dengan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

#### 4.5 Hasil Tegangan Hotspot Pada Variasi $\gamma$

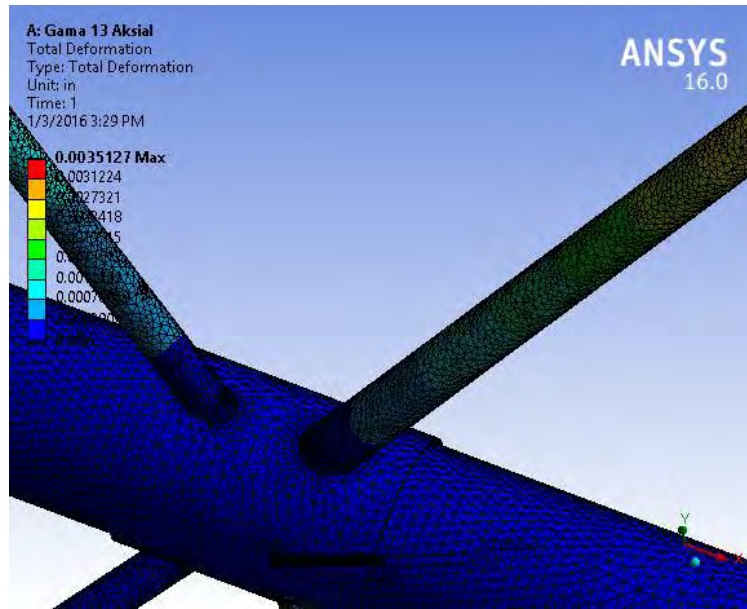
Dalam penelitian kali ini, pemodelan divariasikan pada parameter tubular joint double K. Variasi parameter  $\beta$  adalah perbandingan ketebalan brace dengan ketebalan chord, variasi yang digunakan adalah  $\gamma = 13$ ,  $\gamma = 18$ , dan  $\gamma = 21$ . Tegangan yang dihasilkan yaitu tegangan *hotspot* akibat beban aksial, tegangan *hotspot* akibat beban *bending* dan tegangan *hotspot* akibat beban aksial dan beban *bending*.

##### 4.5.1 Beban Aksial

Beban yang diberikan gaya aksial tekan pada keempat brace sesuai dengan data global pada struktur tersebut, dan pada bagian ujung chord diberikan *pinned support*. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *Maximum Principal Stress*. Berikut hasil pembebanan pada multiplanar tubular joint tersebut.

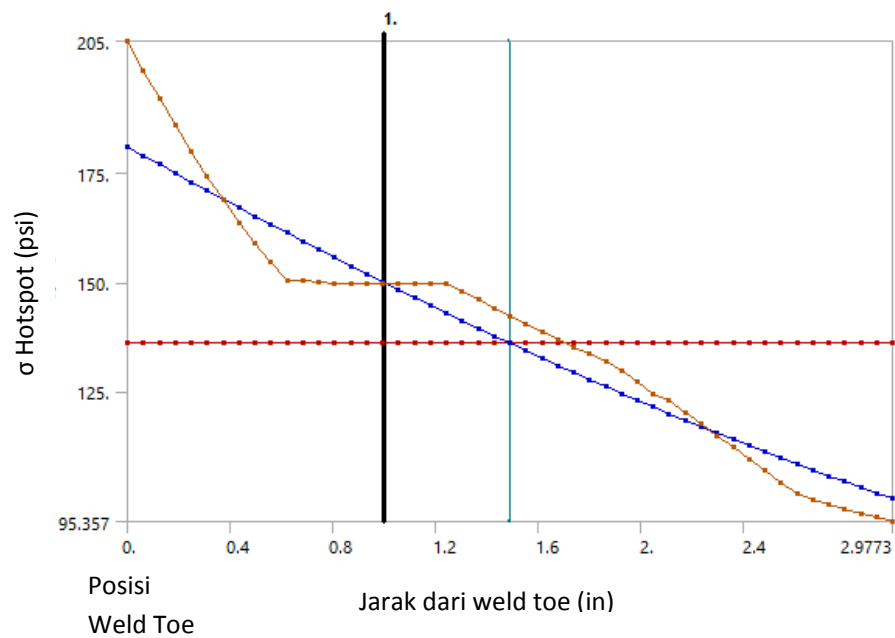


**Gambar 4.35** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial

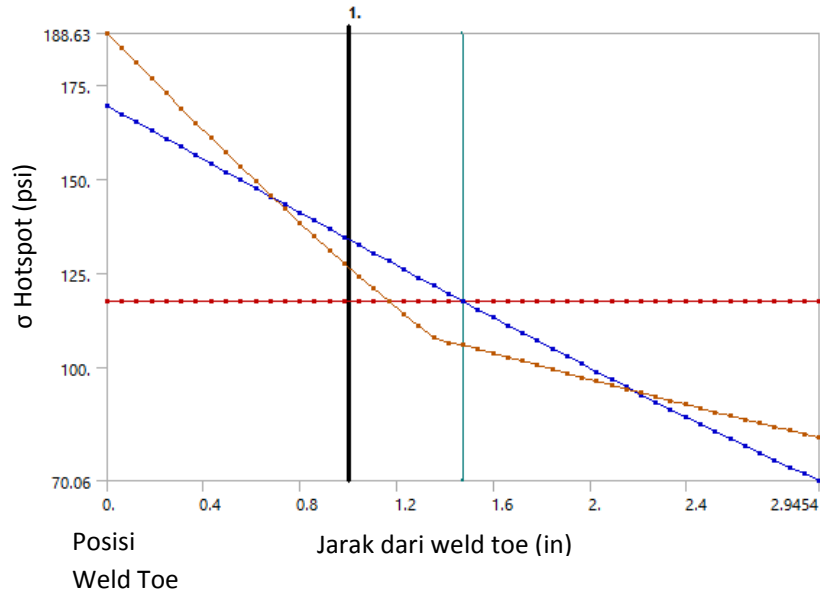


**Gambar 4.36** Deformasi terjadi saat diberikan beban beban aksial

Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada brace dan chord:



**Gambar 4.37** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban aksial



**Gambar 4.38** Ekstrapolasi linier pada chord karena beban aksial

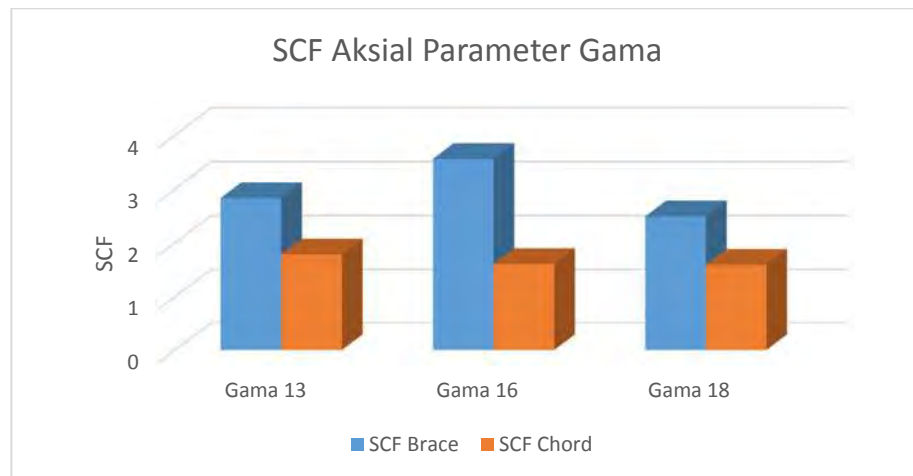
Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada brace dan chord

Tabel 4.7 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\gamma$  dengan beban aksial

Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Gama 13	180.84	0.003512	63.826	2.833328111
Gama 16	227.19	0.009486	63.826	3.559521198
Gama 18	159.15	0.009515	63.827	2.493458881
Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Gama 13	169.49	0.003512	94.861	1.786719516
Gama 16	203.53	0.009486	126.35	1.610842897
Gama 18	198.78	0.009515	124.64	1.594833119

Dari tabel 4.7 didapatkan hasil tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada setiap variasi gama. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada brace dan chord. Dari variasi tersebut nilai terkecil pada setiap deformasi dan tegangan nominal pada gama 18, tetapi tegangan *hotspot* terkecil pada chord terdapat di gama 13 dan untuk brace pada gama 18. Untuk nilai tegangan *hotspot* brace 159.15 psi, chord 198.78 psi, total deformasi 0.0095 inch, tegangan nominal brace 63.827 psi, chord 124.64 psi,

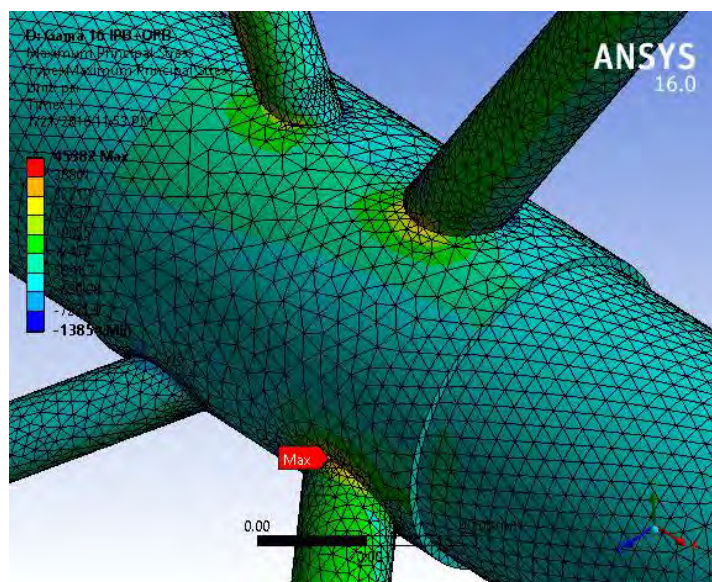
dan nilai SCF terkecil pada brace dan chord terdapat pada gama 18 dengan nilai 2.49 dan pada chord dengan nilai 1.59



**Gambar 4.39** Nilai Grafik SCF pada variasi  $\gamma$  dengan beban aksial

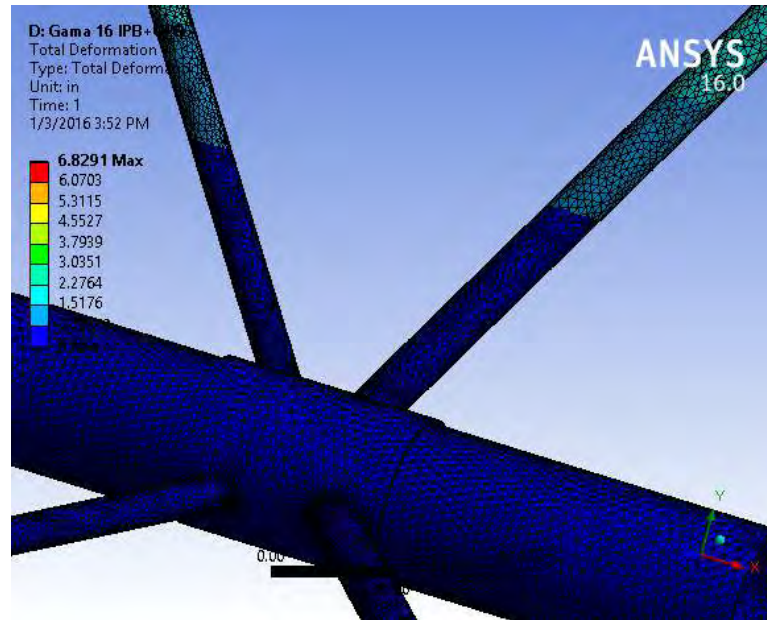
#### 4.5.2 Beban Bending

Beban yang diberikan berupa *in plane bending* dan *out of plane bending*, tegangan tersebut didapatkan dari tegangan moment tiap sumbu pada pemodelan global. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *Maximum Principal Stress*. Berikut hasil pembebanan bending pada *multiplanar tubular joint double k*.



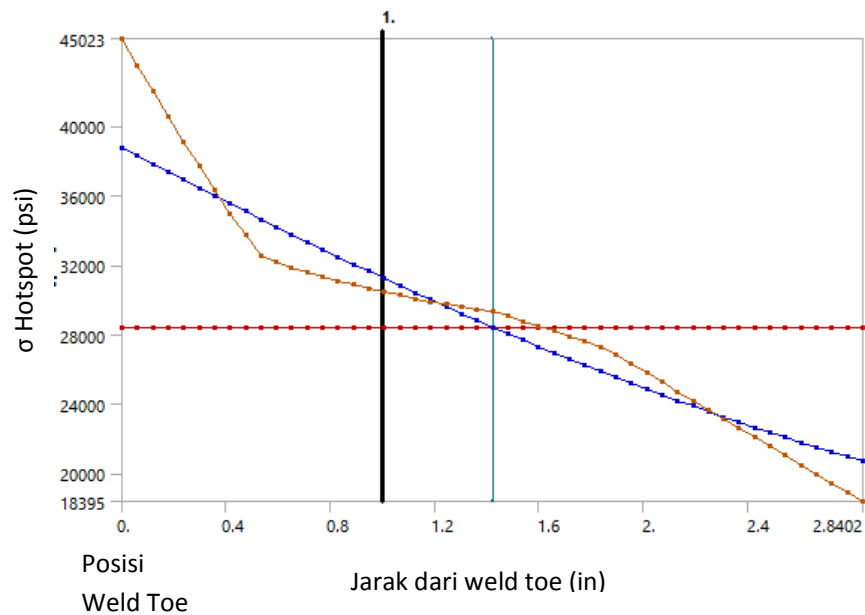
**Gambar 4.40** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*



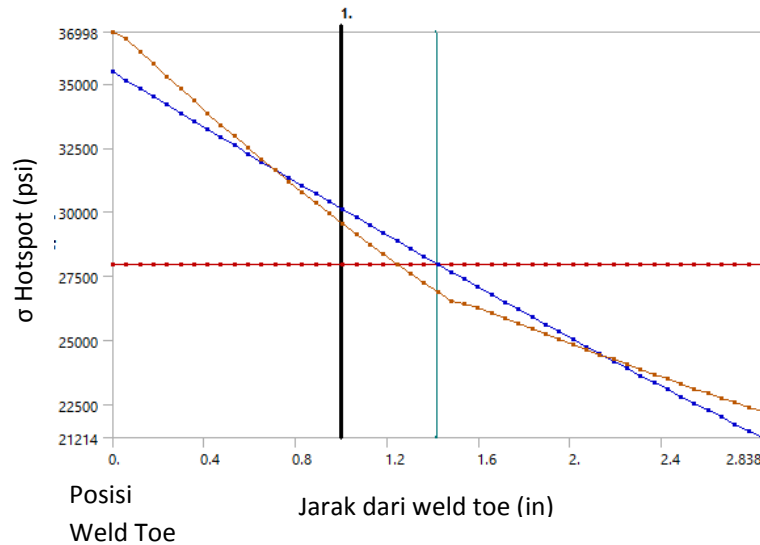


**Gambar 4.41** Deformasi terjadi saat diberikan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada brace dan chord:



**Gambar 4.42** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban bending



**Gambar 4.43** Ekstrapolasi linier pada chord karena beban bending

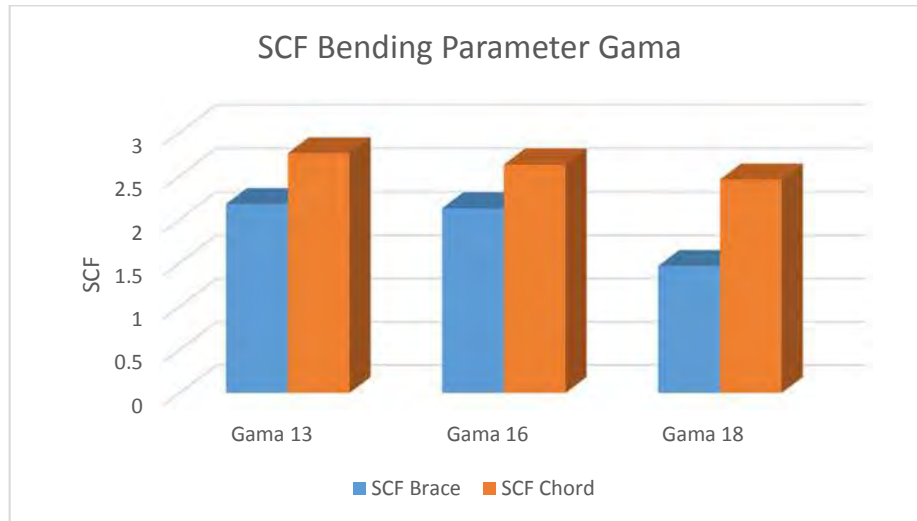
Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada brace dan chord:

Tabel 4.8 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\gamma$  dengan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Gama 13	39641	6.9	18183	2.180113293
Gama 16	38732	6.89	18183	2.130121542
Gama 18	26682	6.82	18183	1.467414618
Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Gama 13	37389	6.9	13533	2.762802039
Gama 16	35456	6.89	13470	2.632219748
Gama 18	33646	6.82	13676	2.460222287

Dari tabel 4.8 didapatkan hasil tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada setiap variasi gama. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada brace dan chord. Dari variasi tersebut nilai terkecil pada setiap tegangan *hotspot*, deformasi dan tegangan nominal pada gama 18. Untuk nilai tegangan *hotspot* brace 26682 psi, chord 33646 psi, total deformasi 6.82 inch, tegangan nominal brace 18183 psi, chord 13676 psi, dan nilai SCF terkecil pada brace dan chord terdapat pada gama 18 dengan nilai 1.46 dan pada chord dengan nilai 2.46.

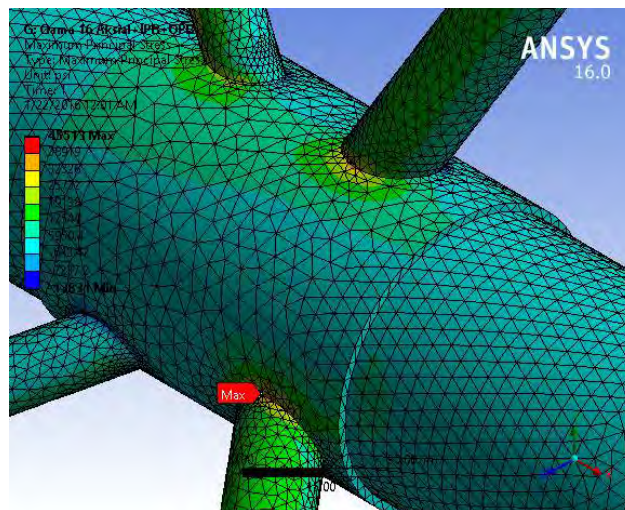




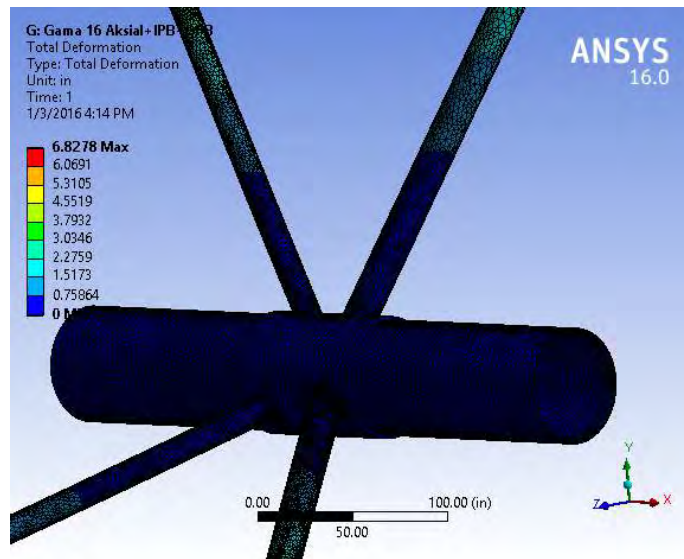
**Gambar 4.44** Nilai SCF pada variasi  $\gamma$  dengan beban *inplane bending* dan *out of plane bending*

#### 4.5.3 Beban Kombinasi Aksial dan Bending

Beban yang diberikan berupa tegangan gabungan dari tegangan aksial dan tegangan bending yang berupa *in plane bending* dan *out of plane bending*, tegangan tersebut didapatkan dari tegangan aksial dan tegangan moment tiap sumbu pada pemodelan global. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *Maximum Principal Stress*. Berikut hasil pembebanan bending pada *multiplanar tubular joint double k*.

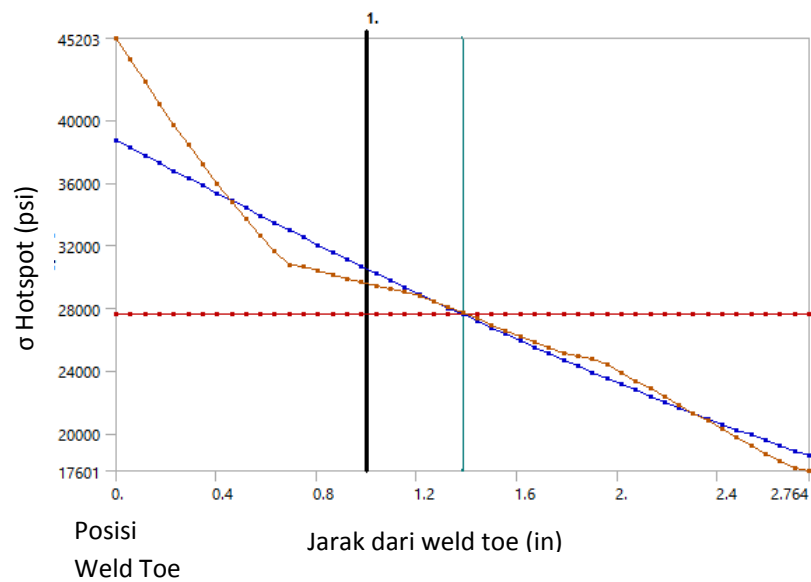


**Gambar 4.45** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

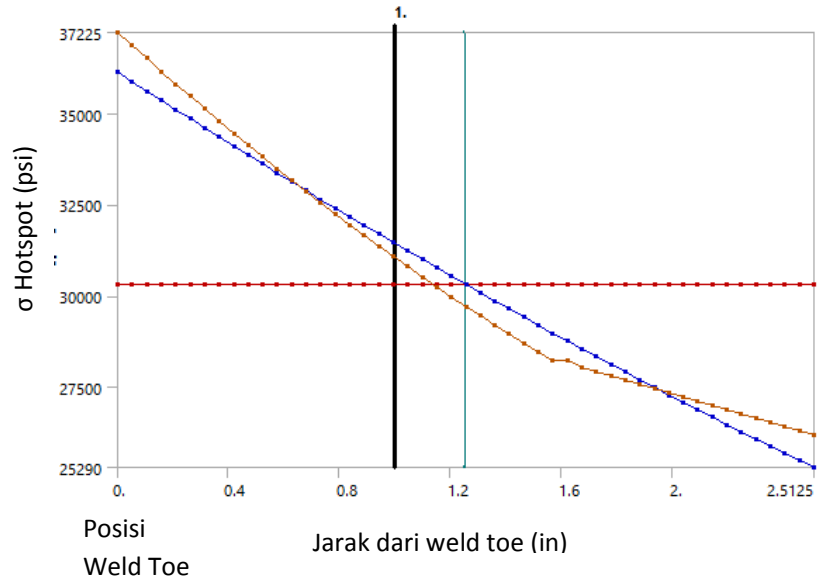


**Gambar 4.46** Deformasi terjadi saat diberikan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada brace dan chord:



**Gambar 4.47** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan bending



**Gambar 4.48** Ekstrapolasi linier pada brace karena beban kombinasi aksial dan bending

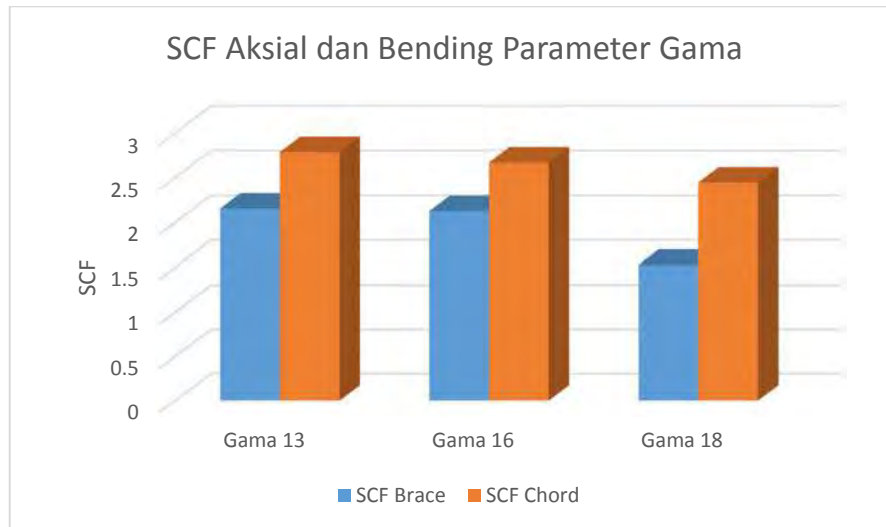
Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada brace dan chord :

Tabel 4.9 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\gamma$  dengan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Gama 13	39244	6.8272	18211	2.154961287
Gama 16	38719	6.8278	18211	2.126132557
Gama 18	27833	6.8242	18211	1.528361979
Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Gama 13	37693	6.8272	13524	2.787119196
Gama 16	36132	6.8278	13526	2.671299719
Gama 18	33429	6.8242	13667	2.445964733

Dari tabel 4.9 didapatkan hasil tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada setiap variasi gama. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai tegangan *hotspot*, deformasi, dan tegangan nominal pada brace dan chord. Dari variasi tersebut nilai terkecil pada setiap tegangan *hotspot*, deformasi dan tegangan nominal pada gama 18. Untuk nilai tegangan *hotspot* brace 27833 psi, chord 33429 psi, total deformasi 6.824 inch, tegangan nominal brace 18211 psi, chord 13667 psi,

dan nilai SCF terkecil pada brace dan chord terdapat pada gama 18 dengan nilai 1.52 dan pada chord dengan nilai 2.44.



**Gambar 4.49** Nilai SCF pada variasi  $\gamma$  dengan beban aksial, *inplane bending* dan *out of plane bending*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil studi parameter yang telah dilakukan mengenai pembahasan ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut,

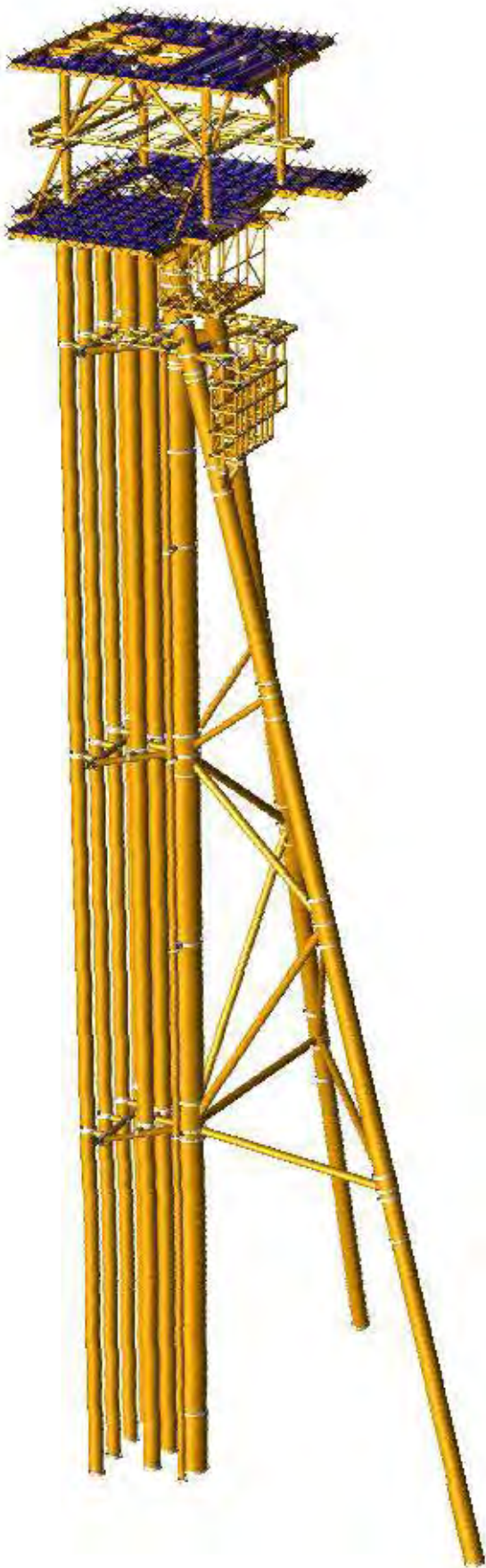
1. Dengan variasi parameter  $\beta$ ,  $\tau$ , dan  $\gamma$  distribusi tegangan, dan tegangan hotspot yang dihasilkan berada pada setiap parameter berbeda-beda. Untuk parameter  $\beta$  tegangan hotspot pada brace dan chord terkecil dengan variasi  $\beta = 0.5$ , untuk parameter  $\tau$  tegangan hotspot pada brace terkecil dengan variasi  $\tau = 0.3, 0.4$ , untuk chord dengan variasi  $\tau = 0.5, 0.6$  dan untuk parameter  $\gamma$  tegangan hotspot terkecil pada brace dan chord dengan variasi  $\gamma = 18$ .
2. Perubahan nilai faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi pembebanan tidak terlalu signifikan, begitu juga dengan setiap variasi parameter.
3. Dimensi terbaik yang mempunyai nilai SCF terkecil pada parameter  $\beta$  pada brace dan chord yaitu dengan  $\beta = 0.3$ , untuk parameter  $\tau$  pada brace dan chord yaitu dengan  $\tau = 0.3, 0.4$  dan untuk parameter  $\gamma$  pada brace dan chord yaitu dengan  $\gamma = 18$ .

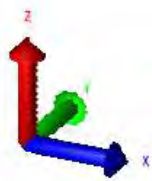
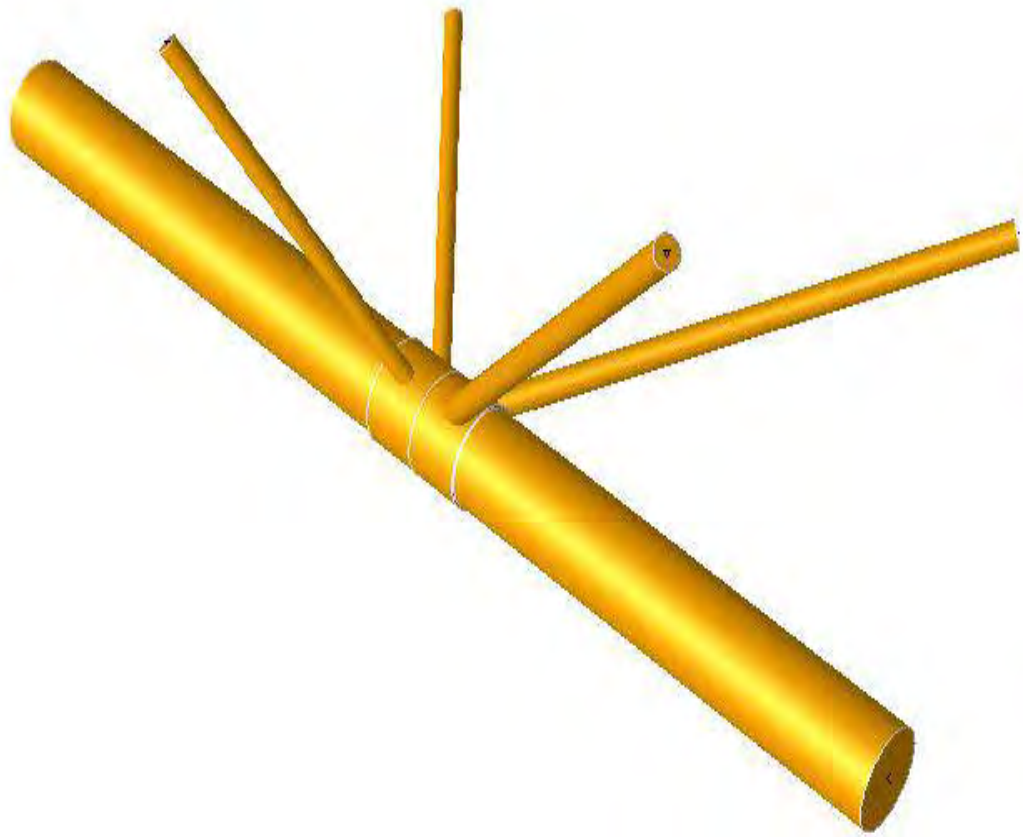
#### **5.2. Saran**

Penelitian ini masih belum bisa dikatakan sempurna karena masih menyederhakan beberapa masalah dalam analisis. Untuk itu dalam penelitian selanjutnya diharapkan mempertimbangkan hal-hal seperti berikut,

1. Melakukan studi parameter dengan variasi yang lainnya sesuai parameter faktor konsentrasi tegangan yang ada
2. Melakukan Studi parameter dengan bentuk Multiplanar tubular Joint lainnya

3. Dapat dilanjutkan untuk menghitung keretakan, *stress intensity factor* (SIF), dan penambahan variasi crack pada studi parameter *multiplanar tubular joint double k* ini.
4. Dapat dilanjutkan untuk menghitung fatigue life pada *multiplanar tubular joint double k*





Gambar A.2 Multiplanar Tubular Joint Double K



### ***Geometri Multi-planar Tubular Joint***

	<i>Thickness (t)</i> (in)	<i>Outside Diameter (OD)</i> (in)	<i>Inside Diameter (ID)</i> (in)	<i>Length (L)</i> (in)
<i>Chord GC 1</i>	2.25	64.5	60	84
<i>Chord GV 1</i>	0.75	61	59.5	366
<i>Brace D 21</i>	0,75	18	16,5	435.3
<i>Brace D 22</i>	0,5	14	13	288

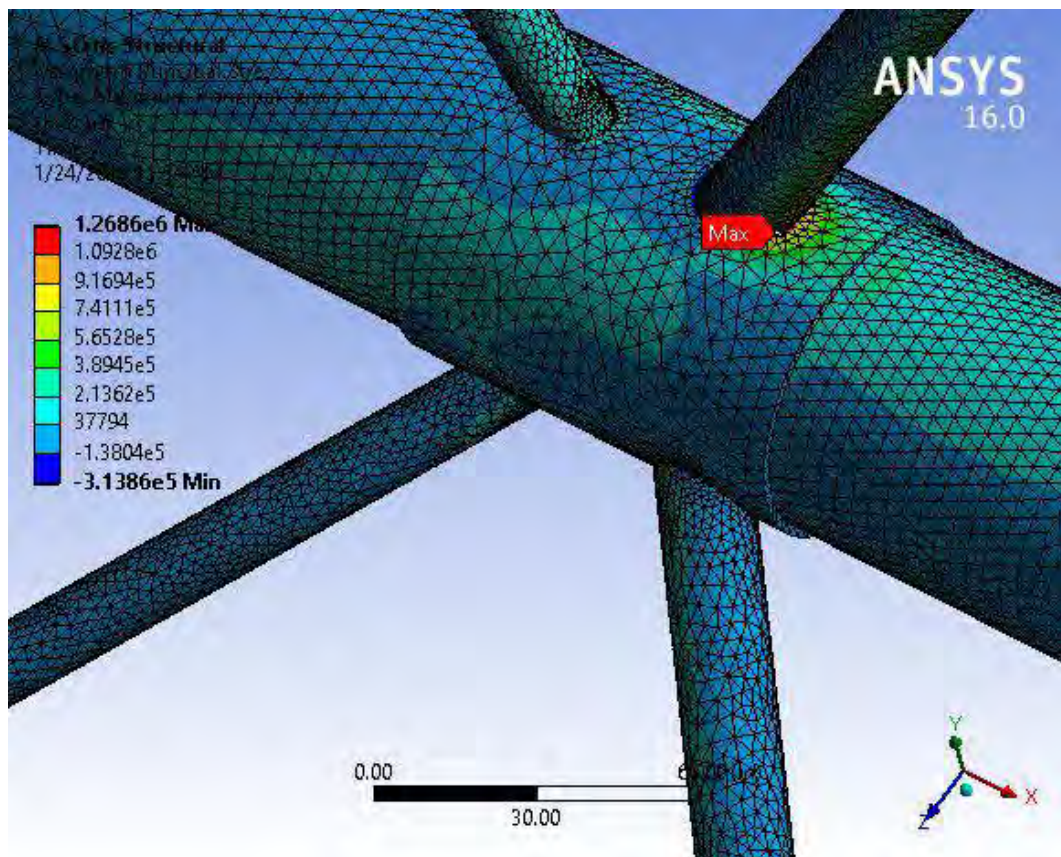
### ***Material Properties pada Multi-planar Tubular Joint***

	<i>Spec &amp; Grade</i>	<i>Yield Strength</i> $\sigma_y$ (ksi)	<i>Mod Young E</i> (ksi)	<i>Shear Modulus G</i> (ksi)	<i>Poisson's Ratio <math>\nu</math></i>
<i>Chord GC1</i>	API 2H Grade 50	50	29	11,6	0,3
<i>Chord GV1</i>	API 2H Grade 50	50	29	11,6	0,3
<i>Brace</i>	API 2H Grade 50	50	29	11,6	0,3

## Validasi Tegangan lokal terhadap global

Tabel A.4 Tegangan Pada Pemodelan Global (ksi)

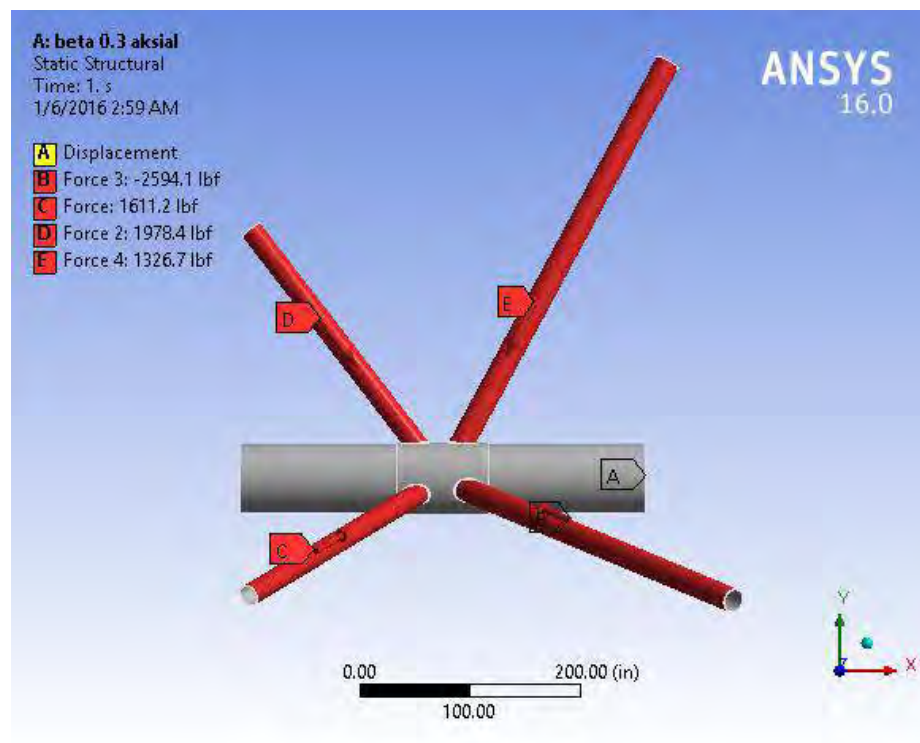
Member	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_{yz}$	$\sigma_{xz}$	$\sigma$ von mises
D22 (1)	-20.4253	10.5096	1.6112	22.97052	10.63239	23.02695	65.37336422
D22 (2)	-98.778	7.9602	1.9784	99.09822	8.202369	99.11797	264.4365063
D21(1)	144.828	13.4405	-2.5941	145.4503	13.68855	145.4735	383.5930481
D21(2)	-480.433	-8.7049	1.3267	480.5115	8.80542	480.5133	1270.017825



Gambar A.4 Hasil Pemodelan Lokal

Tabel B.1 Beban Aksial

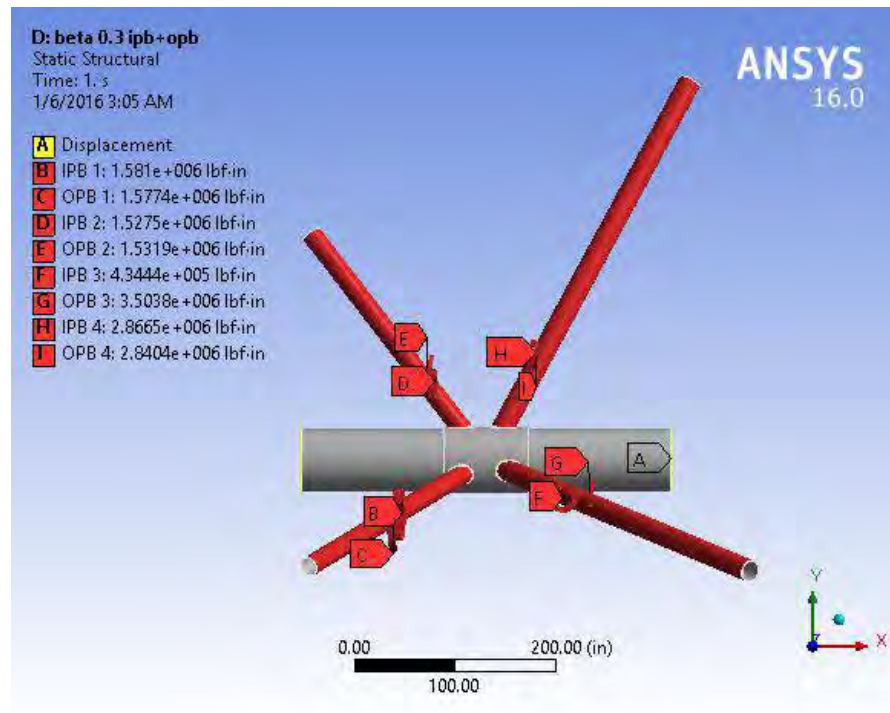
<i>Member</i>	<i>Axial Force</i> (lbf)
D21 (1)	1611.2
D21 (2)	1978.4
D22 (1)	-2594.1
D22 (2)	1326.7



Gambar B.1 Beban Aksial

Tabel B.2 Beban IPB+OPB

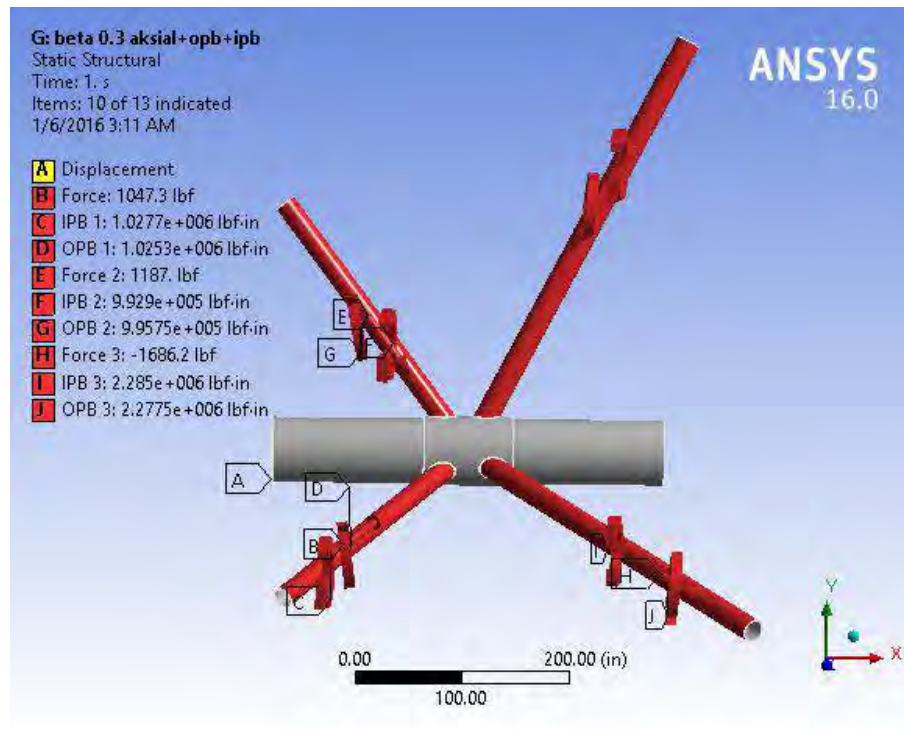
Member	Moment (lbf-in)		
	x	y	z
Ch 1	-141,62	28.935,46	-279,95
Ch 2	118,24	-1.556,8	162,27
JC 1	-346,7	75.240	-730,4
JC 2	344,78	-4.480,8	489,6



Gambar B.2 Beban IPB+OPB

Tabel B.3 Beban Kombinasi Aksial +IPB+OPB

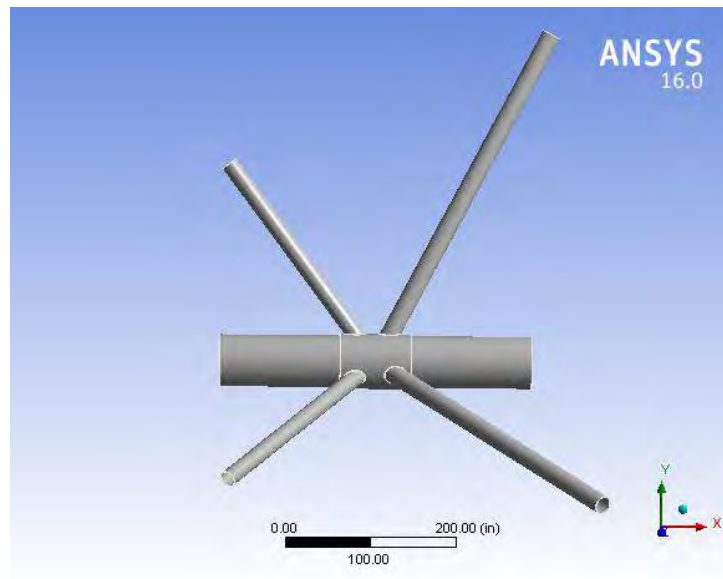
Member	Moment (lbf-in)			Axial Force (lbf)
	x	Y	z	
D21(1)	-1563.46	-209.538	-235.149	1.6112
D21(2)	-1505.88	-281.247	-256.265	1.9784
D22(1)	3488.494	-327.613	434.4285	-2.5941
D22(2)	-2822.04	322.5139	-502.712	1.3267



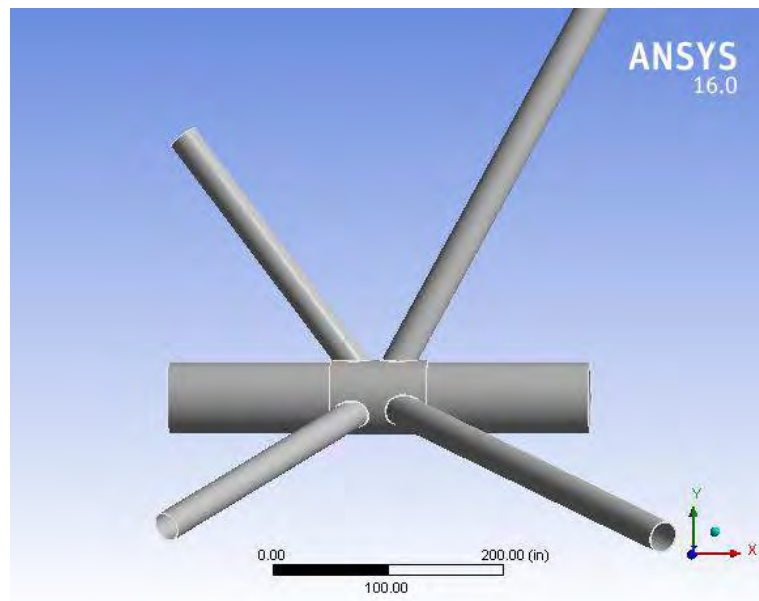
Gambar B.3 Beban Kombinasi Aksial+IPB+OPB

Tabel B.1. Parameter Beta

Diameter Chord (in)	Diameter Brace (in)		Parameter Beta	
	D 21	D 22		
64.5	22	20	0.34	0.31
64.5	28	26	0.43	0.40
64.5	35	32.5	0.54	0.50

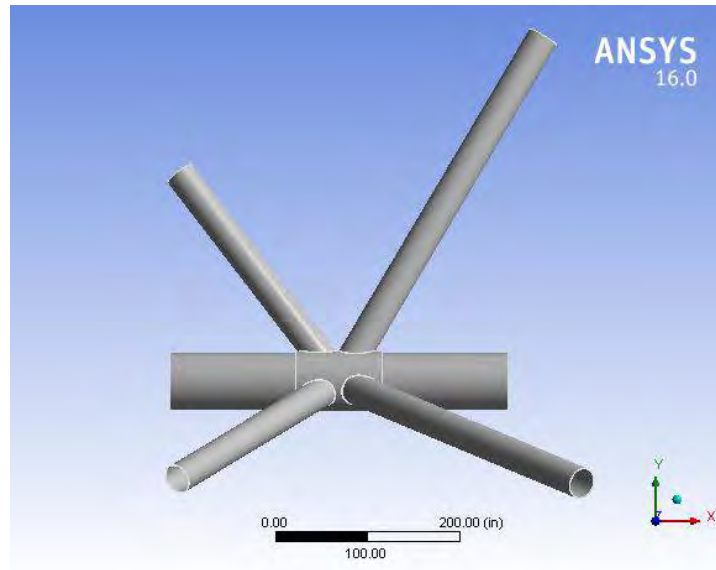


Gambar B.1 Variasi Beta 0.3



Gambar B.2 Variasi Beta 0.4

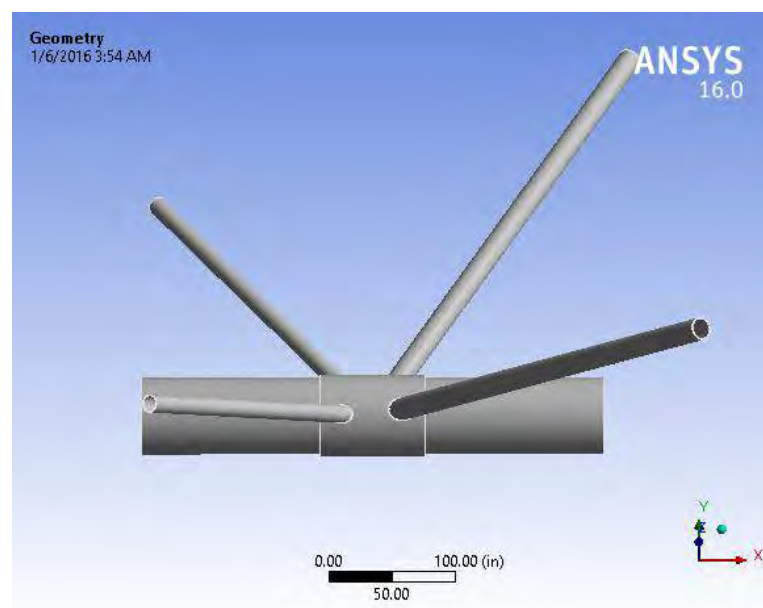




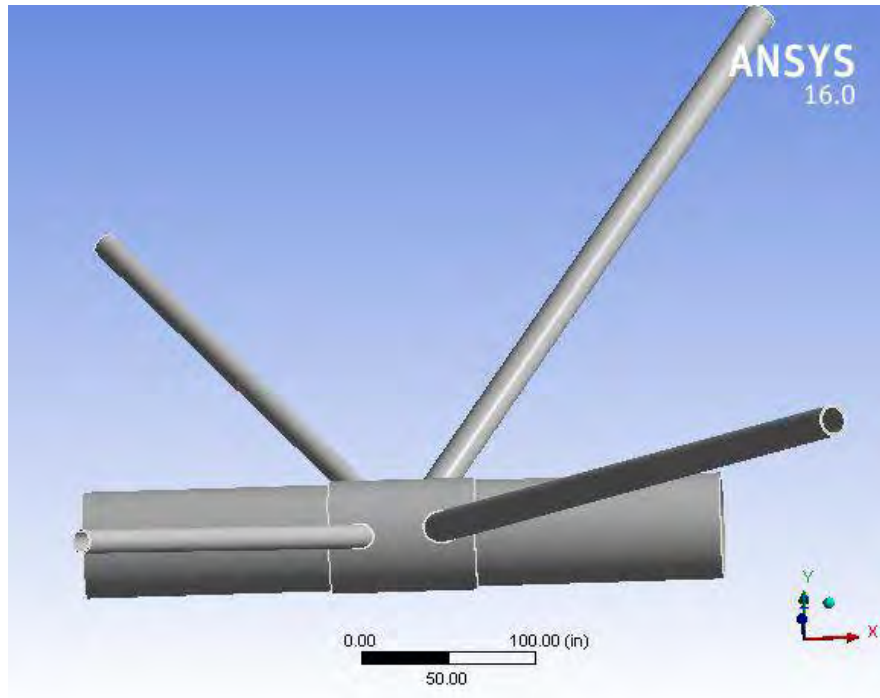
Gambar B.3 Variasi Beta 0.5

Tabel B.2. Parameter Tau

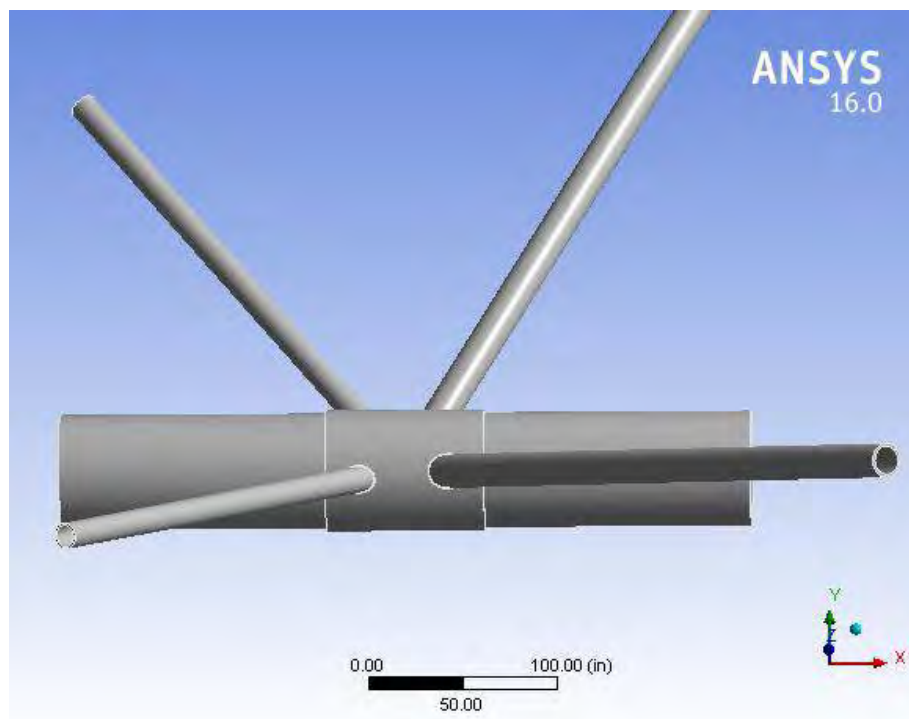
Ketebalan Chord (in)	Ketebalan Brace (in)		Parameter Tau	
	D 21	D 22		
2.25	1	0.75	0.4	0.3
2.25	1.25	1	0.5	0.4
2,25	1.5	1.25	0.6	0.5



Gambar B.4 Variasi Tau 0.3, 0.4



Gambar B.5 Variasi Tau 0.4, 0.5

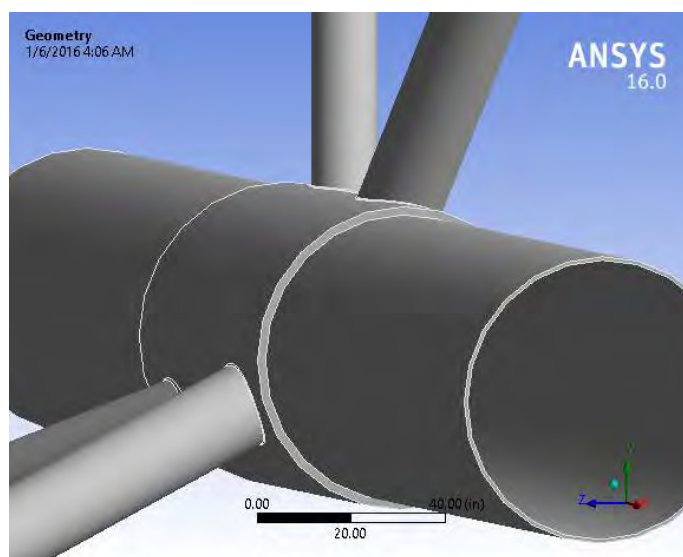


Gambar B.6 Variasi Tau 0.5, 0.6

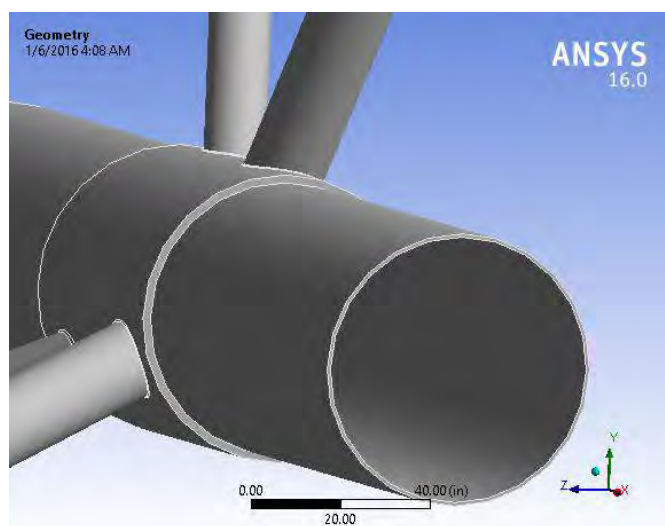


Tabel B.3. Parameter Gamma

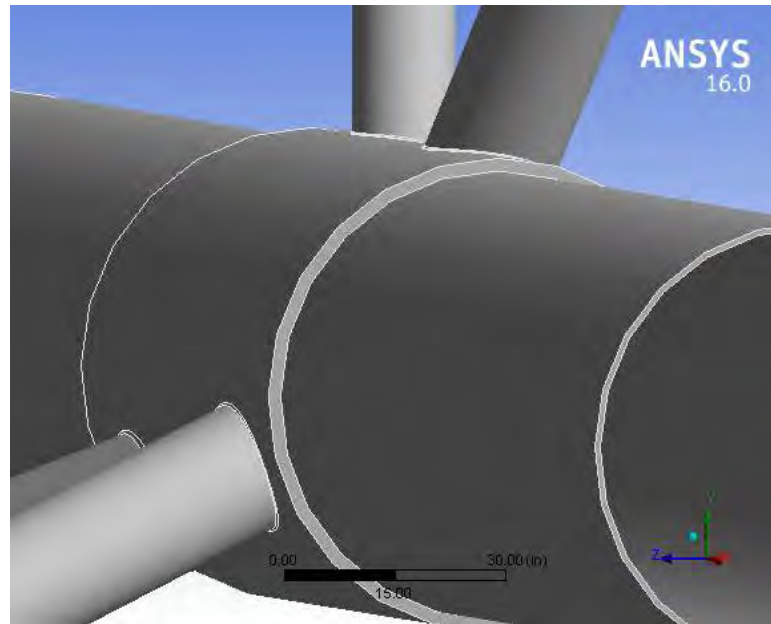
Diameter Chord (in)	Ketebalan Chord (in)	Parameter Gamma
64.5	2.5	13
64.5	2	16
64.5	1.75	18



Gambar B.7 Variasi Gamma 13



Gambar B.8 Variasi Gamma 16

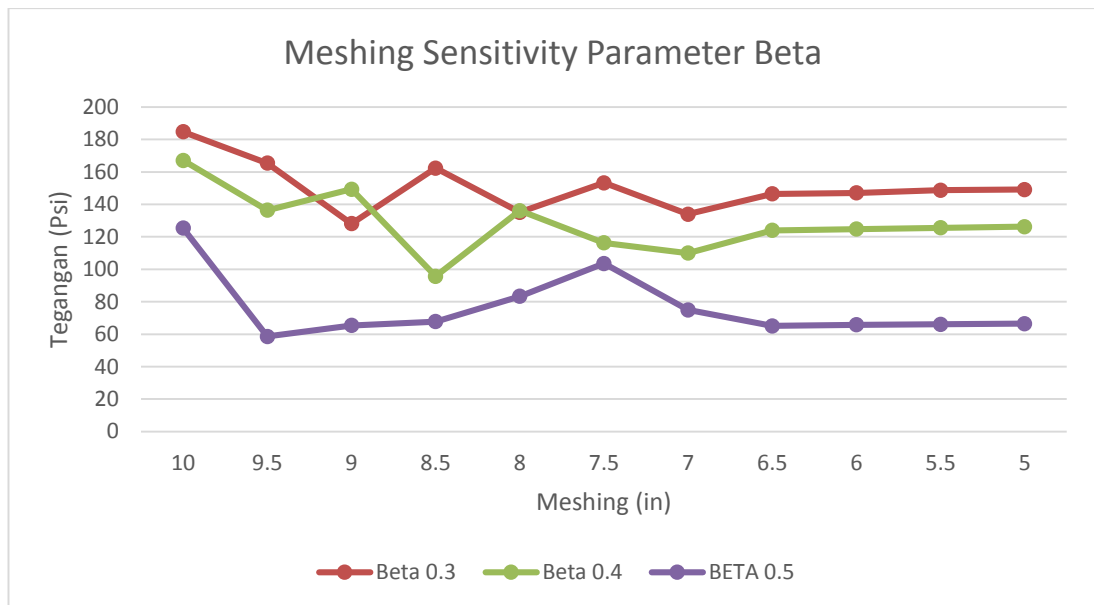


Gambar B.9 Variasi Gamma 18

## HASIL MESHING SENSITIVITY

Tabel C.1 *Meshing sensitivity* variasi beta

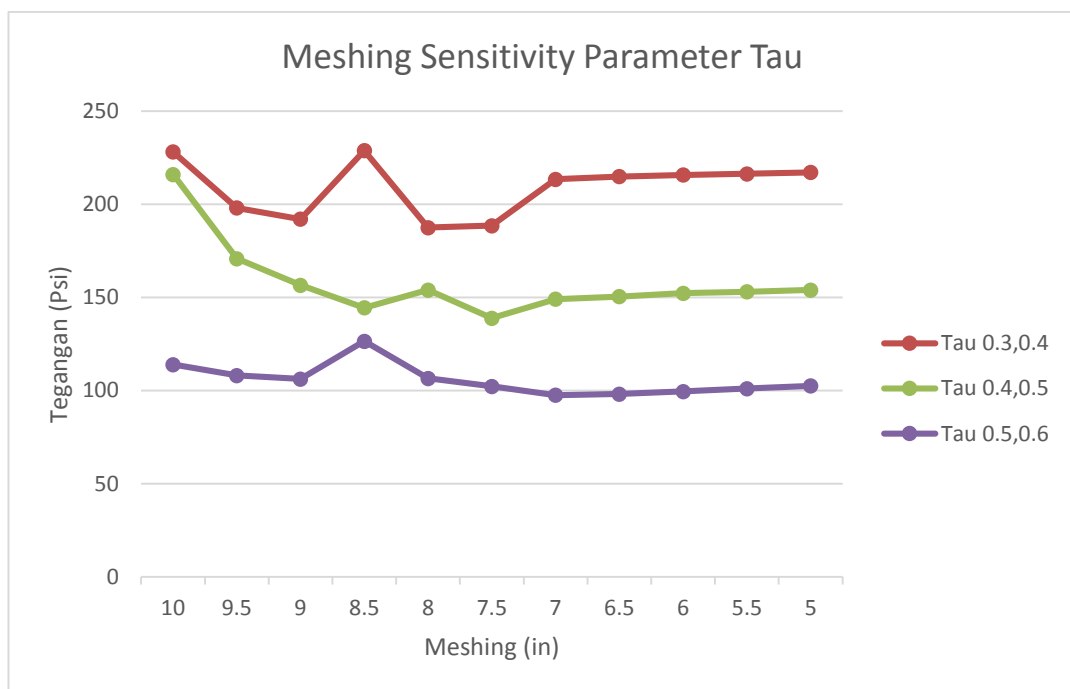
meshing (in)	BETA 0.3	BETA 0.4	BETA 0.5
	stress (Psi)	stress (Psi)	stress (Psi)
10	184.72	167.08	125.37
9.5	165.45	136.4	58.615
9	128.15	149.32	65.402
8.5	162.38	95.665	67.73
8	135.16	136.13	83.384
7.5	153.29	116.33	103.53
7	133.93	109.98	74.977
6.5	146.47	123.97	65.069
6	147.08	124.73	65.76
5.5	148.74	125.57	66.05
5	149.12	126.23	66.43



Gambar C.1 Grafik *meshing sensitivity* parameter beta

Tabel C.2 *Meshing sensitivity* variasi tau

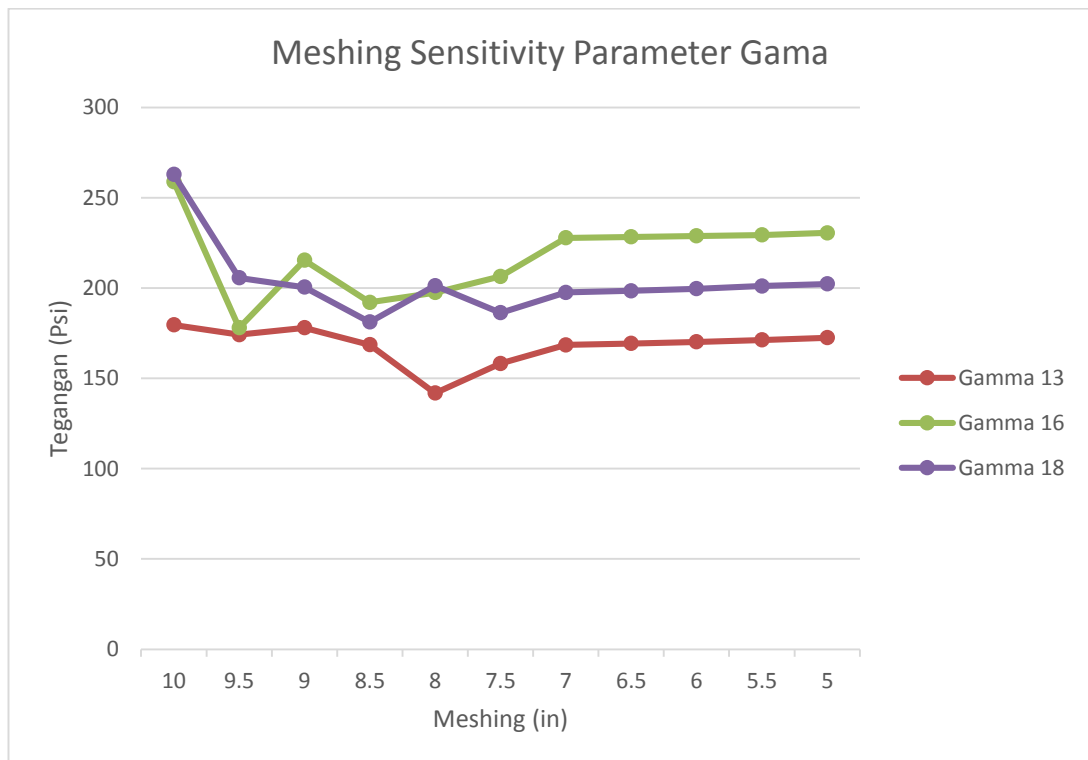
meshing (in)	Tau 0.3,0.4	Tau 0.4,0.5	Tau 0.5,0.6
	stress (Psi)	stress (Psi)	stress (Psi)
10	228.06	215.93	213.95
9.5	198.05	170.76	108.07
9	191.98	156.54	106.16
8.5	228.73	144.39	226.2
8	187.47	153.97	106.52
7.5	188.47	138.82	102.23
7	213.42	149.02	97.492
6.5	214.84	150.44	98.104
6	215.69	152.21	99.512
5.5	216.32	153.02	101.018
5	217.08	153.98	102.527



Gambar C.2 Grafik *meshing sensitivity* parameter tau

Tabel C.3 *Meshing sensitivity* variasi gamma

meshing (in)	Gama 13	Gama 16	Gama 18
	stress (Psi)	stress (Psi)	stress (Psi)
10	179.59	258.86	262.88
9.5	174.14	177.97	205.65
9	177.98	215.33	200.51
8.5	168.62	192.07	181.19
8	141.86	197.45	201.31
7.5	158.26	206.45	186.3
7	168.49	227.77	197.56
6.5	169.25	228.3	198.42
6	170.19	228.82	199.63
5.5	171.23	229.38	201.14
5	172.52	230.49	202.25

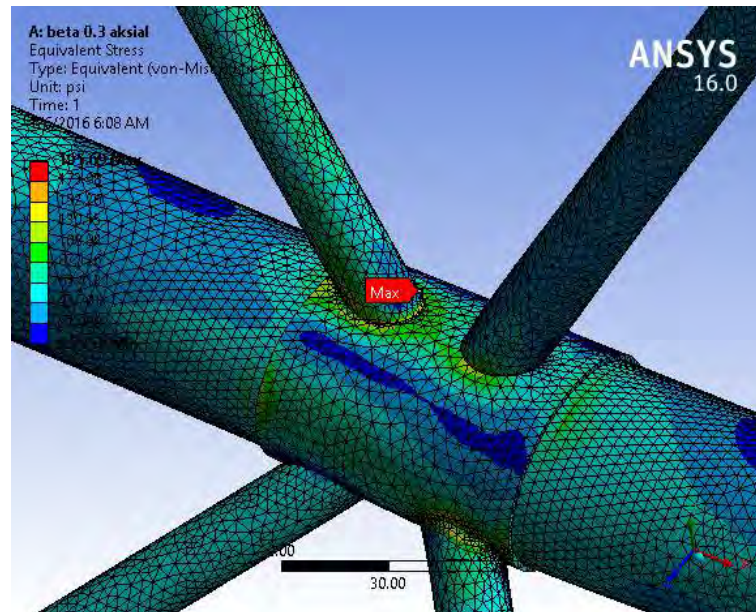


Gambar C.3 Grafik *meshing sensitivity* parameter gamma

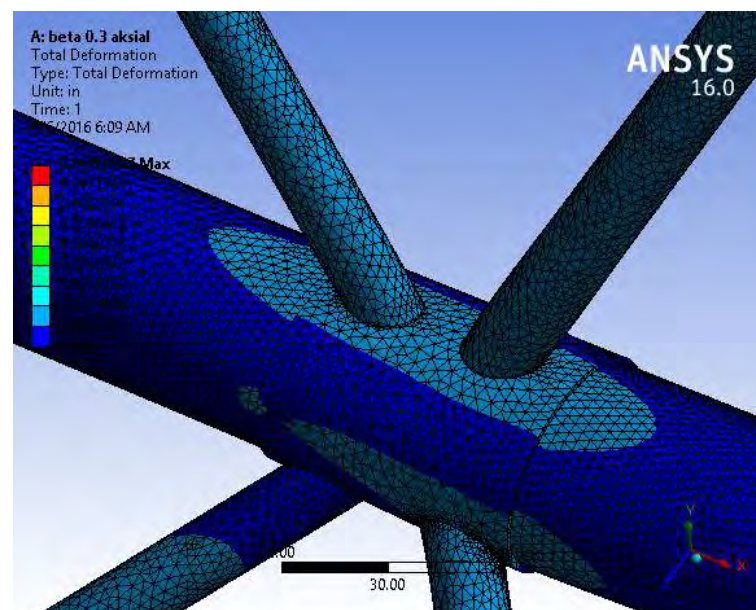
## HASIL TEGANGAN *HOTSPOT*, TOTAL DEFORMASI DAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN VARIASI $\beta$

### A. BEBAN AKSIAL

#### A.1 Beta 0.3



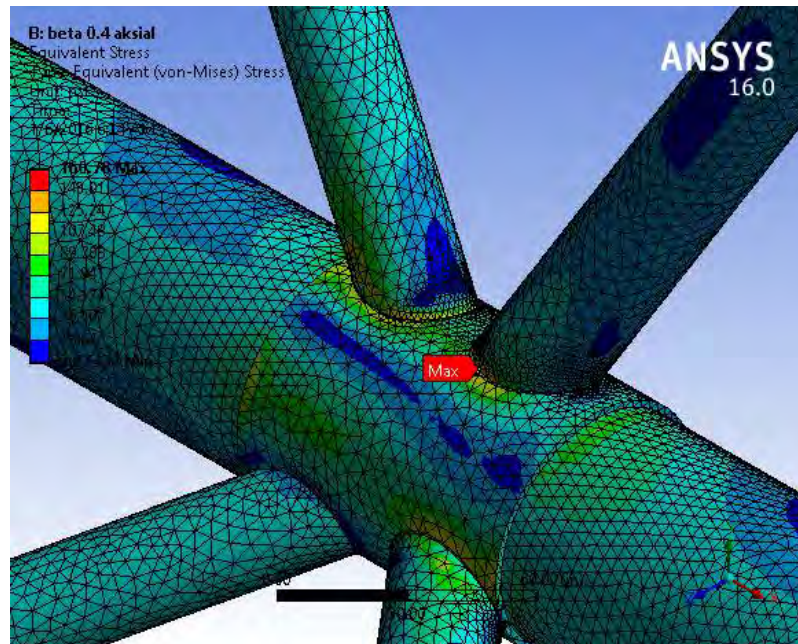
Gambar D.1 Distribusi tegangan akibat beban aksial beta 0.3



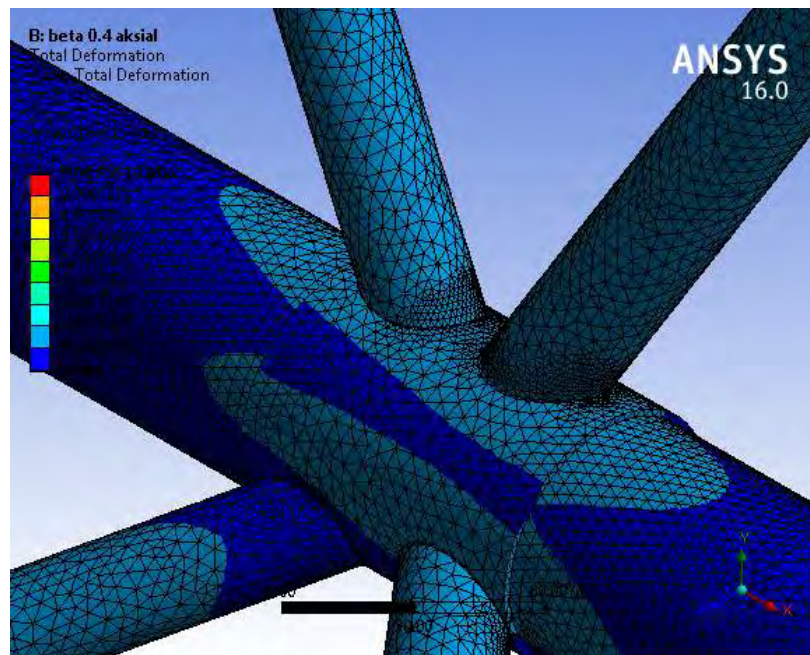
Gambar D.2 Deformasi akibat beban aksial



## A.2 Beta 0.4

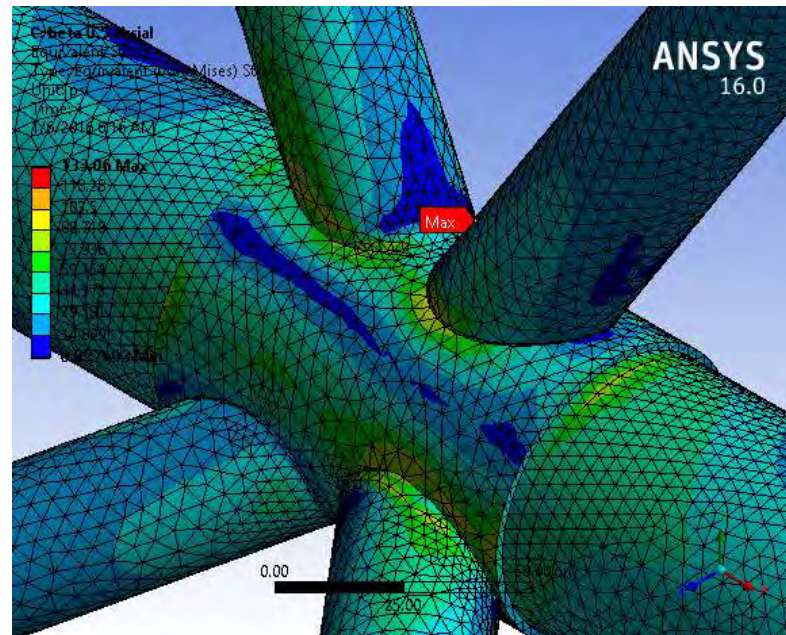


Gambar D.3 Distribusi tegangan akibat beban aksial beta 0.4

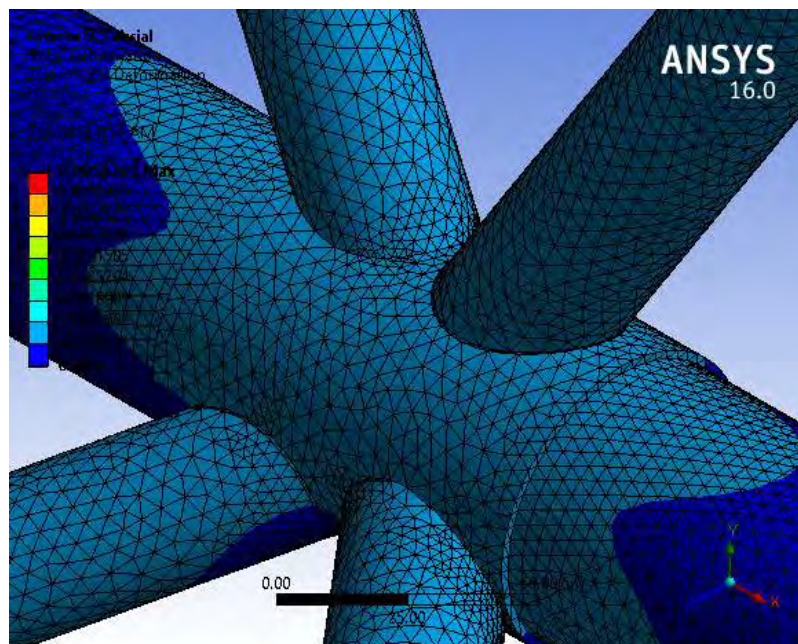


Gambar D.4 Deformasi akibat beban aksial

### A.3 Beta 0.5



Gambar D.5 Distribusi tegangan akibat beban aksial beta 0.5

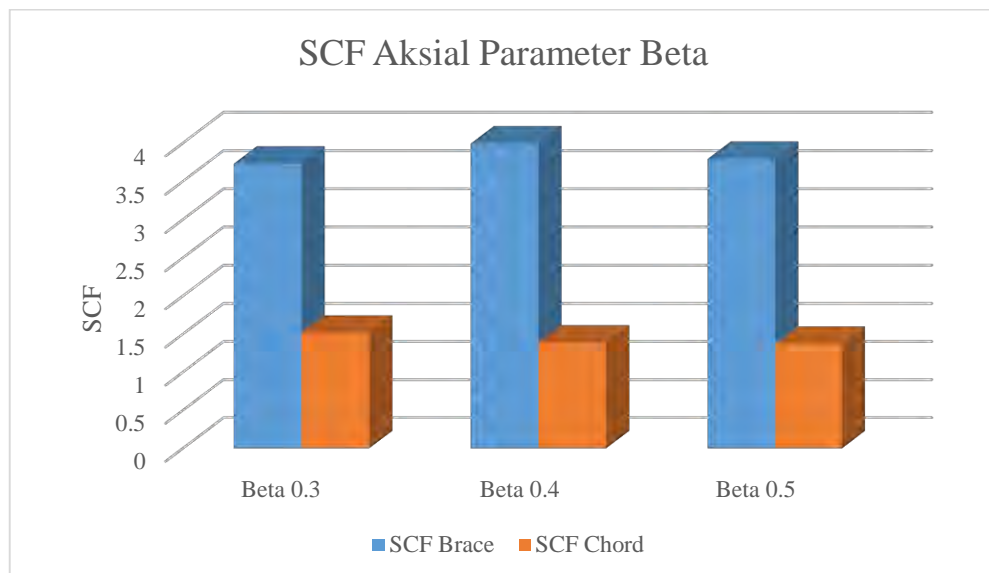


Gambar D.6 Deformasi akibat beban aksial



Tabel D.1.1 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\beta$  dengan beban aksial

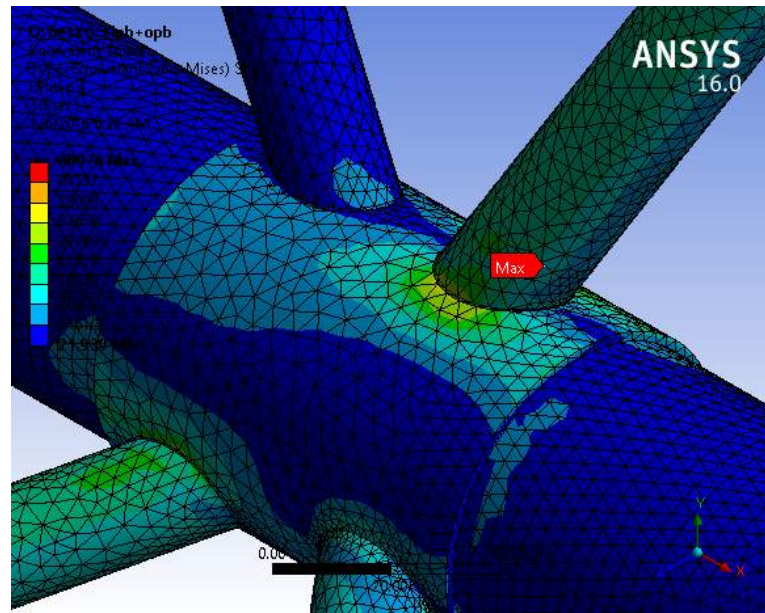
Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF Brace
Beta 0.3	193.16	0.00876	51.811	3.728165834
Beta 0.4	161.27	0.00756	40.403	3.991535282
Beta 0.5	125.54	0.00567	33.115	3.791031255
Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF Chord
Beta 0.3	179.65	0.00876	118.72	1.513224394
Beta 0.4	124.3	0.00756	89.74	1.385112547
Beta 0.5	112.61	0.00567	82.247	1.36916848



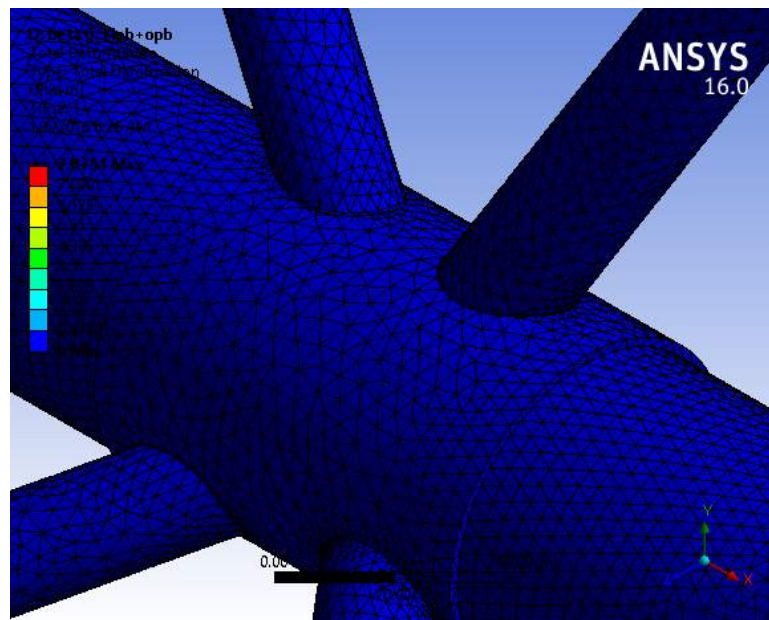
Gambar D.7 Grafik SCF pada variasi  $\beta$  dengan beban aksial

## B. BEBAN IPB+OPB

### B.1 Beta 0.3

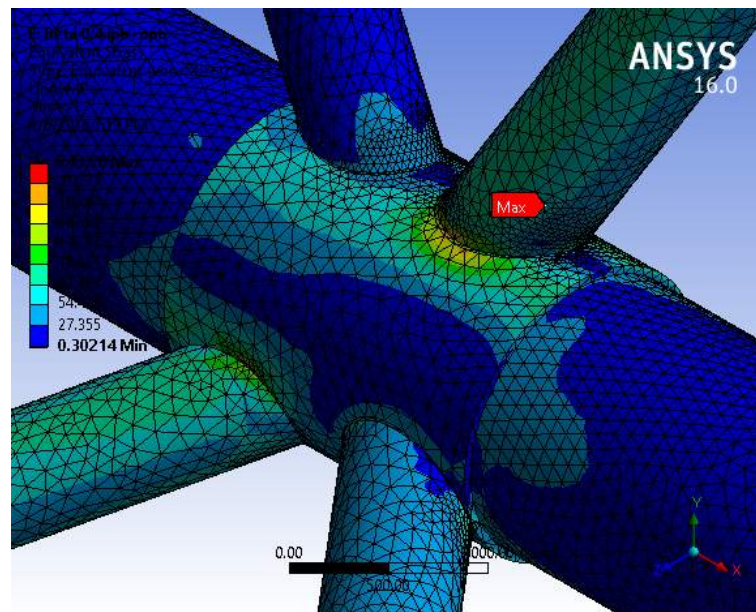


Gambar D.8 Distribusi tegangan akibat beban IPB+OPB beta 0.3

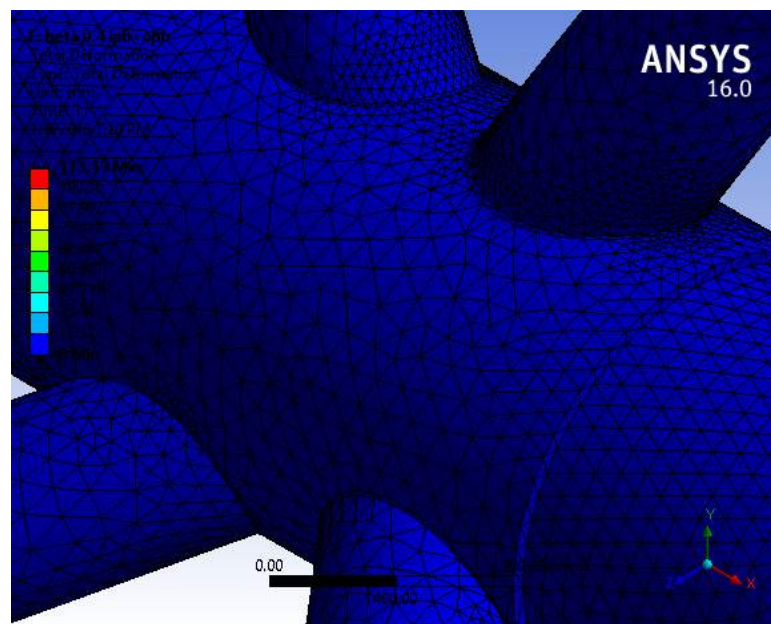


Gambar D.9 Deformasi akibat beban IPB+OPB

Beta 0.4



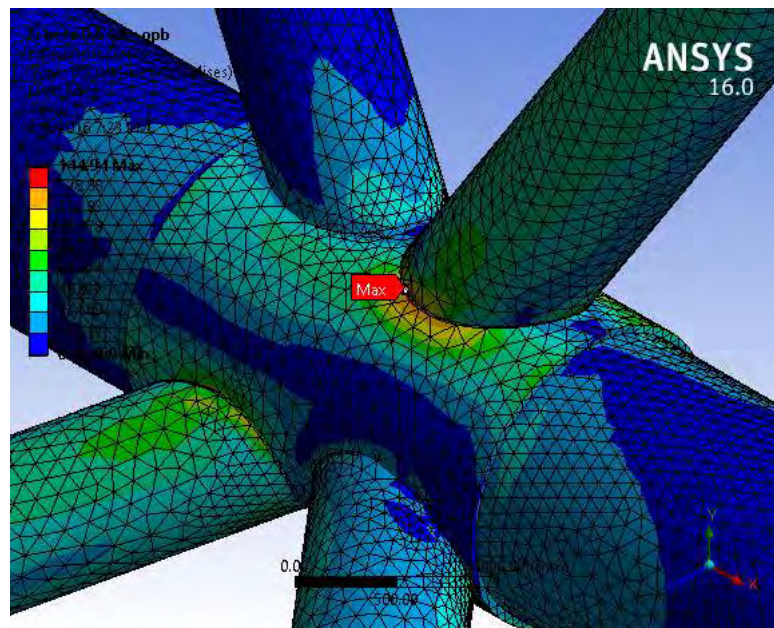
Gambar D.10 Distribusi tegangan akibat beban IPB+OPB beta 0.4



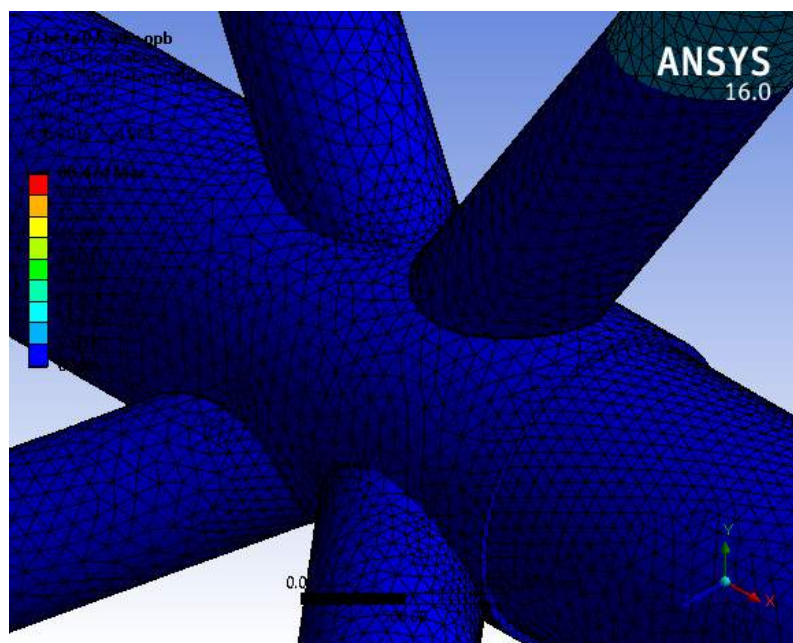
Gambar D.11 Deformasi akibat beban IPB+OPB



Beta 0.5



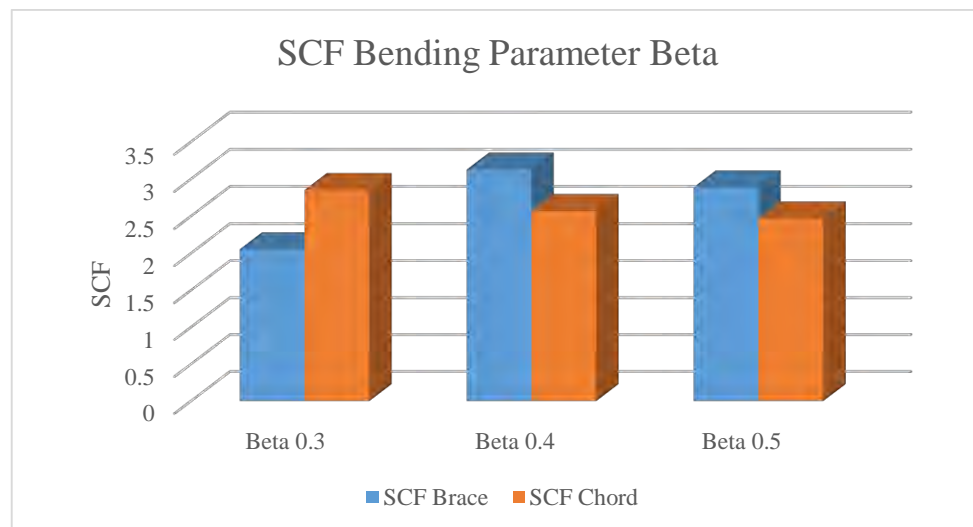
Gambar D.12 Distribusi tegangan akibat beban IPB+OPB beta 0.5



Gambar D.13 Deformasi akibat beban IPB+OPB

Tabel D.2 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\beta$  dengan beban IPB+OPB

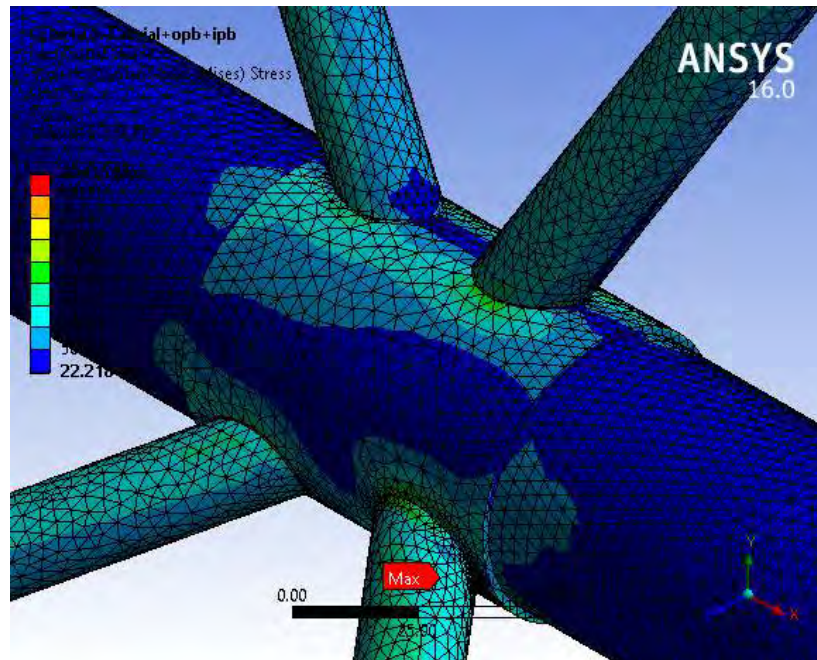
Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Beta 0.3	43312	7.8751	21111	2.051631851
Beta 0.4	39830	4.454	12749	3.124166601
Beta 0.5	24319	2.6873	8427.6	2.885637667
Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Beta 0.3	49363	7.8751	17323	2.849564163
Beta 0.4	37617	4.454	14653	2.567187607
Beta 0.5	25793	2.6873	10457	2.466577412



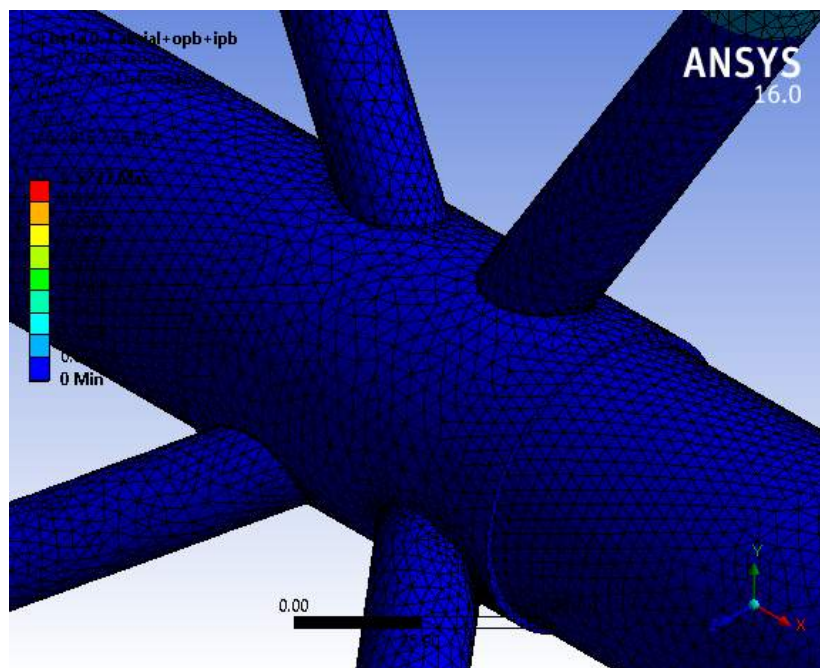
Gambar D.14 Grafik SCF pada variasi  $\beta$  dengan beban IPB+OPB

### C. BEBAN AKSIAL+IPB=OPB

#### C.1 Beta 0.3



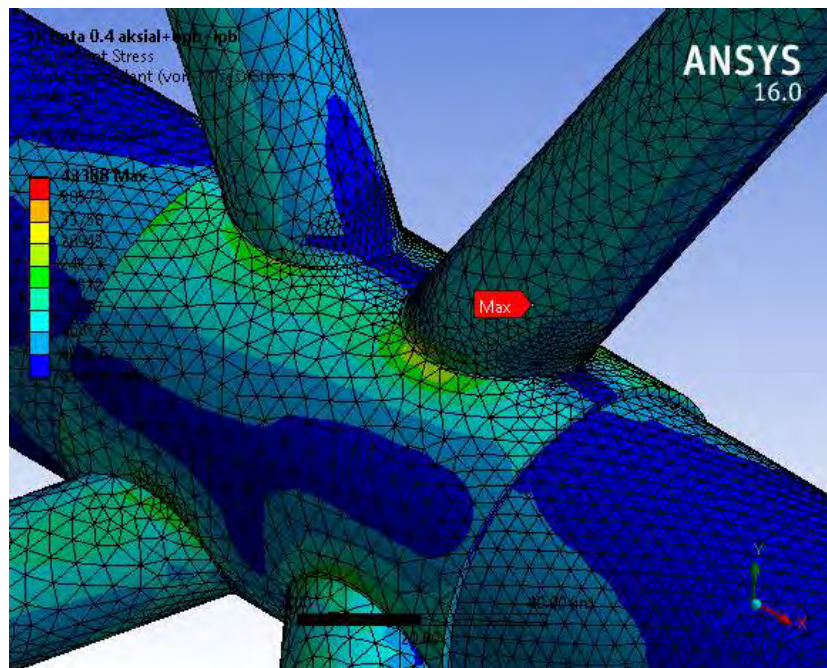
Gambar D.15 Distribusi tegangan akibat beban AKSIAL+IPB+OPB beta 0.3



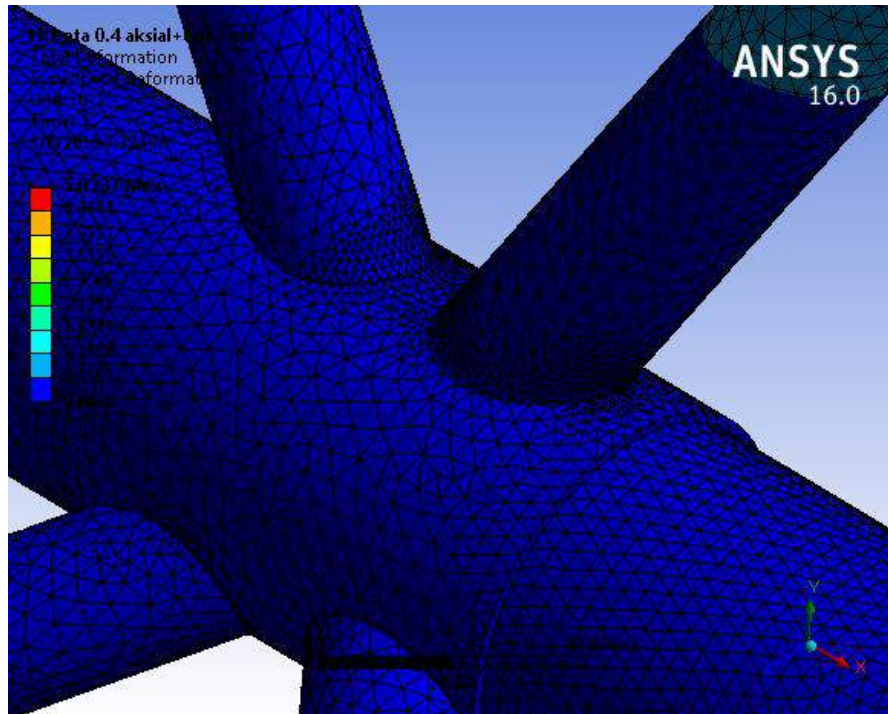
Gambar D.16 Deformasi akibat beban AKSIAL+IPB+OPB



## C.2 Beta 0.4

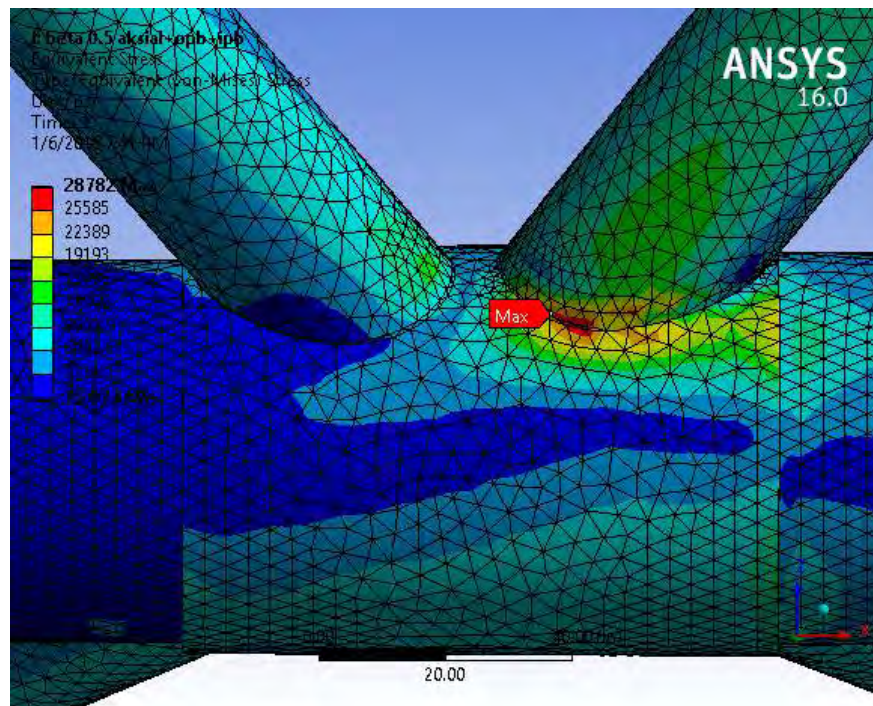


Gambar D.17 Distribusi tegangan akibat beban AKSIAL+IPB+OPB beta 0.4

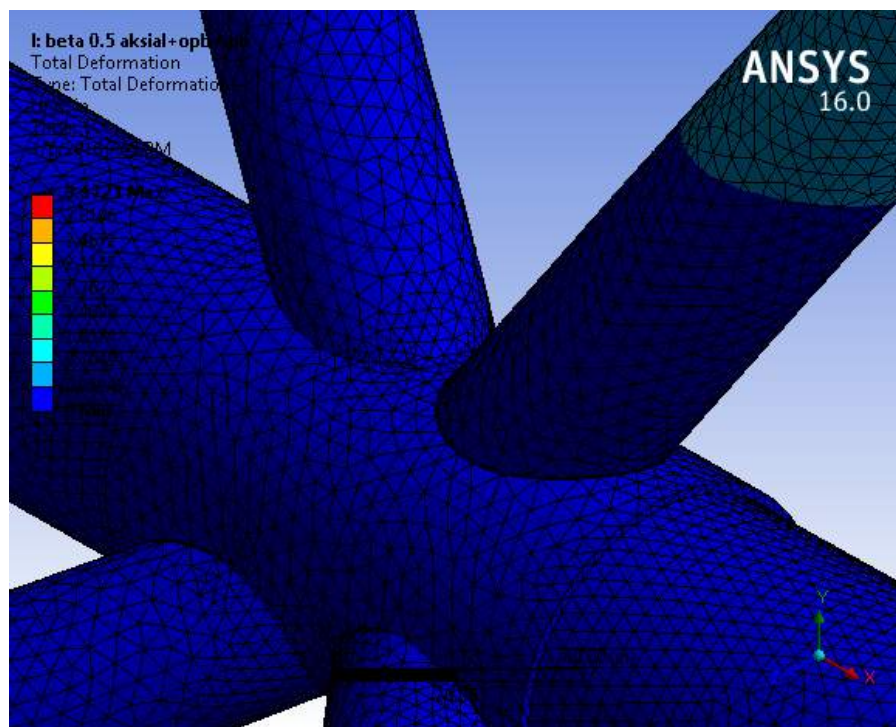


Gambar D.18 Deformasi akibat beban AKSIAL+IPB+OPB

### C.3 Beta 0.5



Gambar D.19 Distribusi tegangan akibat beban AKSIAL+IPB+OPB beta 0.5

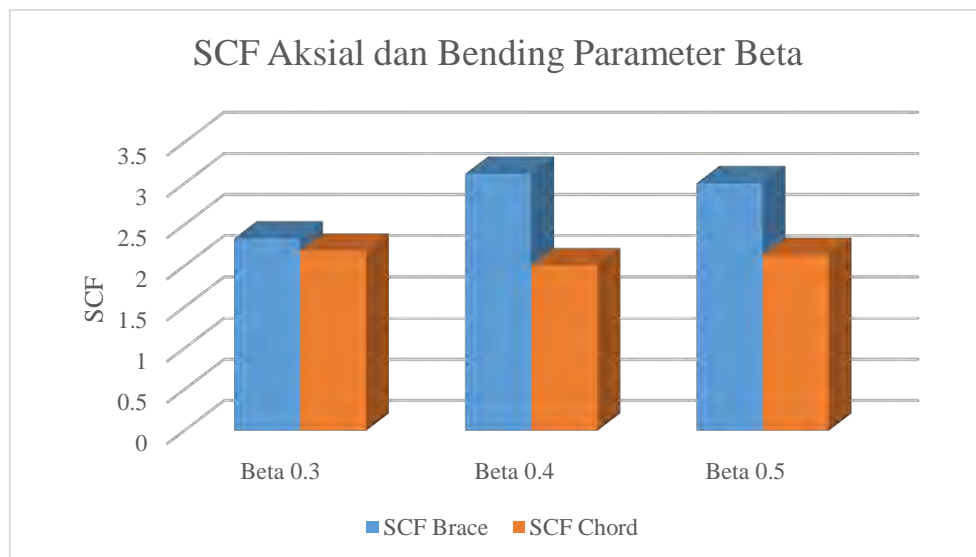


Gambar D.20 Deformasi akibat beban AKSIAL+IPB+OPB



Tabel D.3 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\beta$  dengan beban AKSIAL+IPB+OPB

Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	HotSpot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Beta 0.3	36115	5.5277	15492	2.331203202
Beta 0.4	39663	5.0296	12729	3.115955692
Beta 0.5	25246	3.1721	8411.6	3.001331495
Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	HotSpot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Beta 0.3	33052	5.5277	15147	2.182082261
Beta 0.4	34286	5.0296	17101	2.004911993
Beta 0.5	27456	3.1721	12876	2.132339236

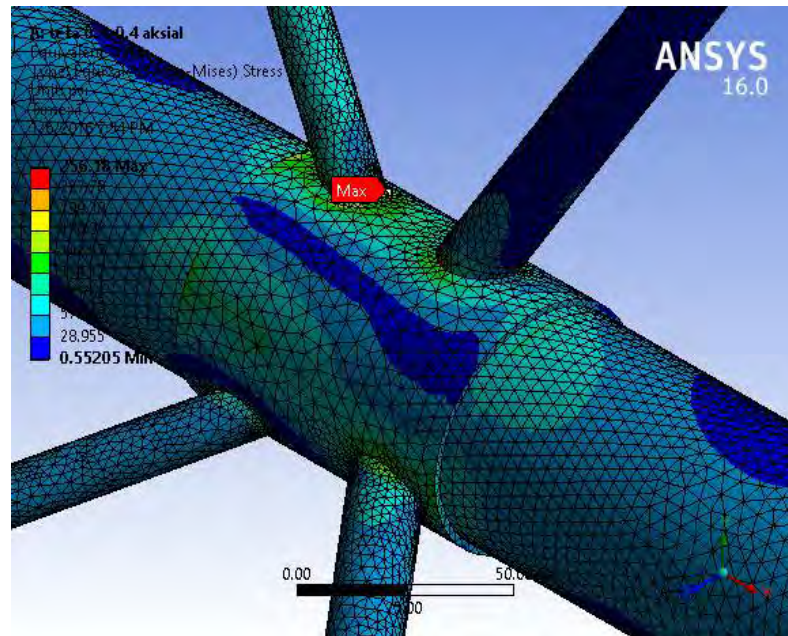


Gambar D.21 Grafik SCF pada variasi  $\beta$  dengan beban AKSIAL+IPB+OPB

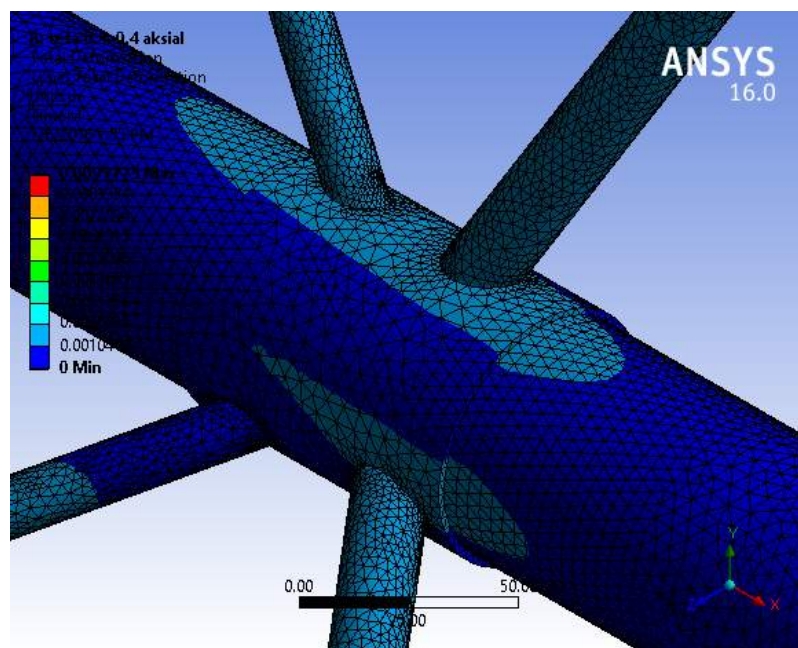
HASIL TEGANGAN *HOTSPOT*, TOTAL DEFORMASI DAN FAKTOR  
KONSENTRASI TEGANGAN VARIASI  $\tau$

A. BEBAN AKSIAL

A.1 Tau 0.3,0.4

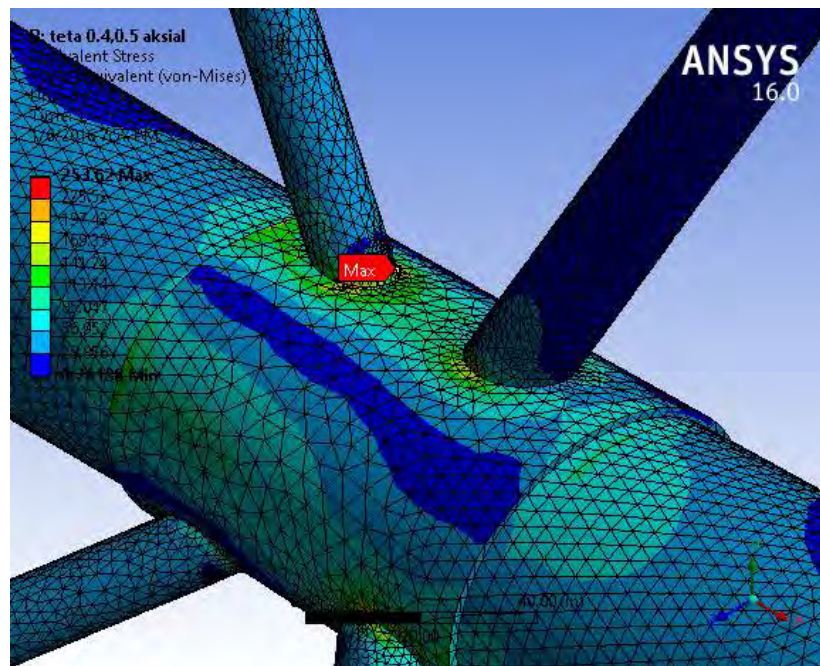


Gambar E.1 Distribusi tegangan akibat beban aksial Tau 0.3,0.4

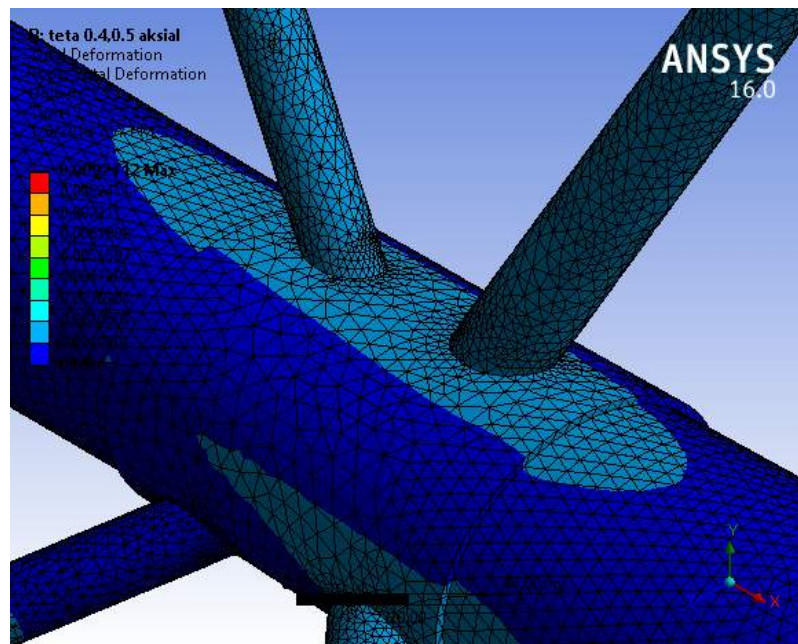


Gambar E.2 Deformasi akibat beban aksial

## A.2 tau 0.4,0.5



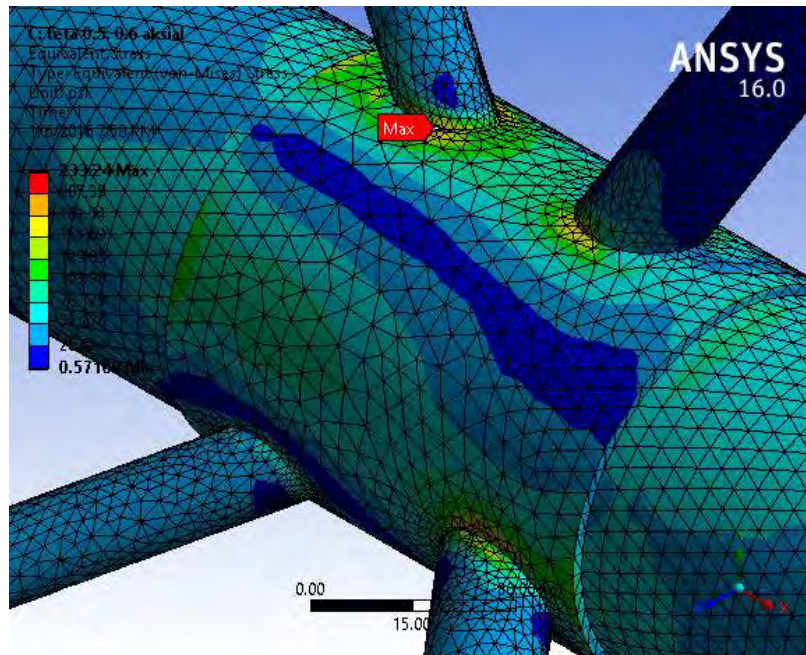
Gambar E.3 Distribusi tegangan akibat beban aksial Tau 0.4,0.5



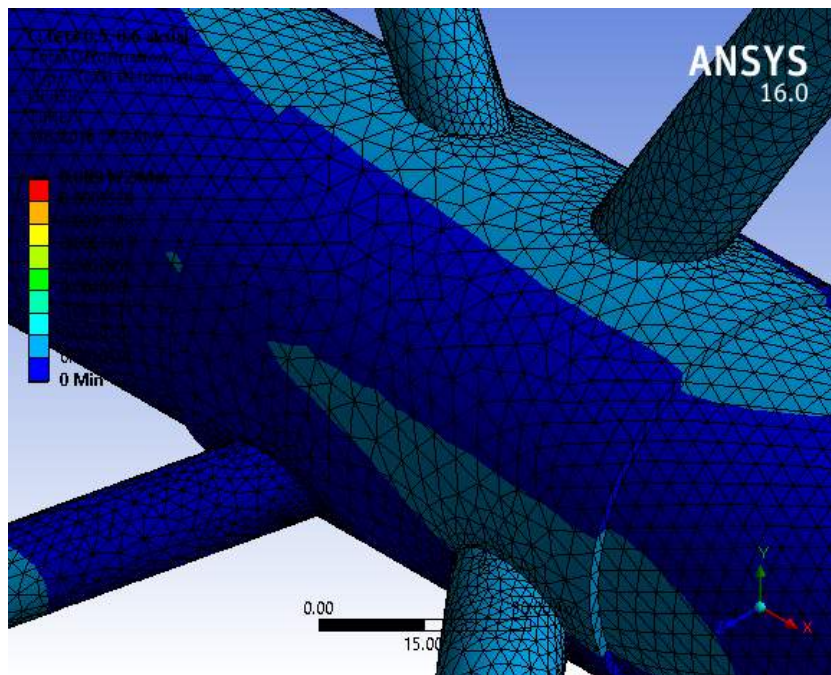
Gambar E.4 Deformasi akibat beban aksial



### A.3 tau 0.5,0.6



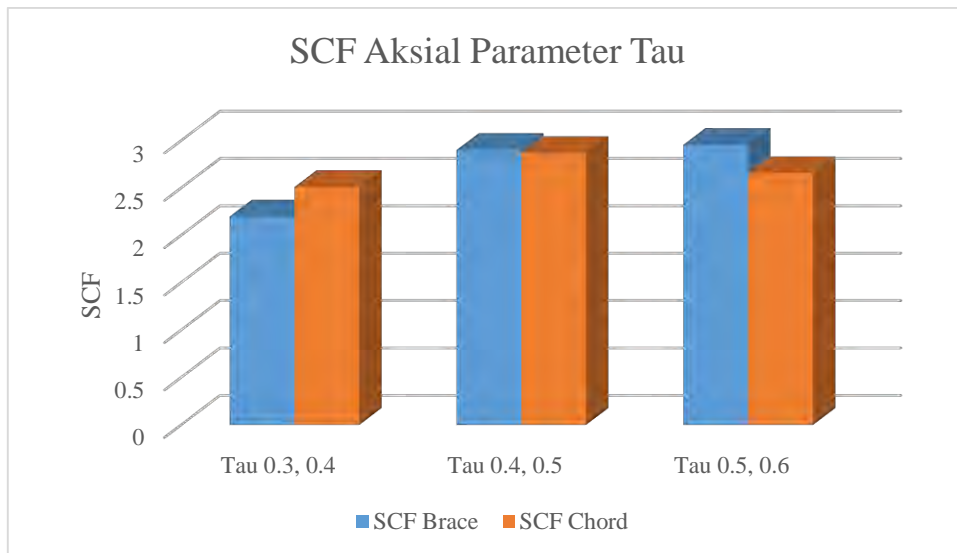
Gambar E.5 Distribusi tegangan akibat beban aksial Tau 0.5,0.6



Gambar E.6 Deformasi akibat beban aksial

Tabel E.1 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\tau$  dengan beban aksial

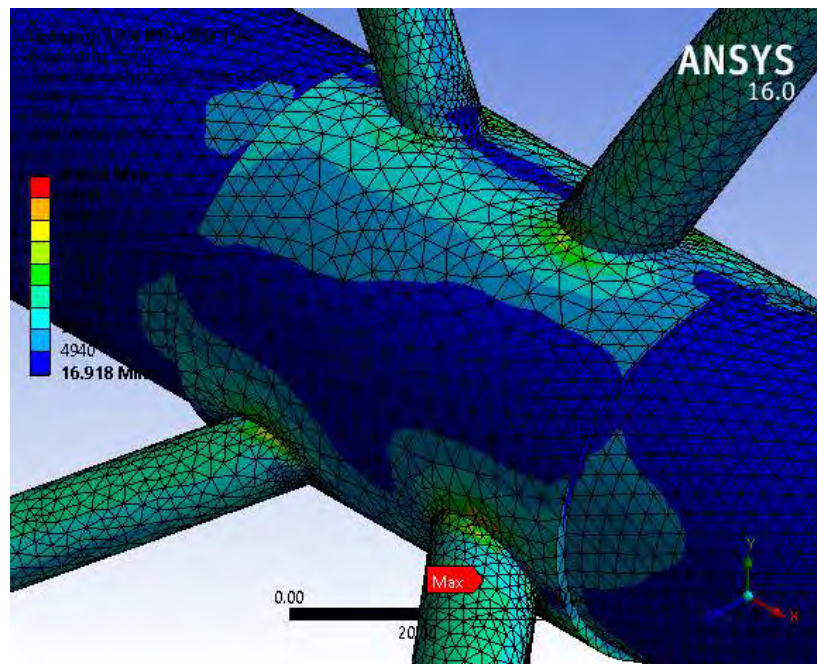
Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Tau 0.3, 0.4	219.46	0.009377	48.573	4.518147942
Tau 0.4, 0.5	217.65	0.009271	39.439	5.518649053
Tau 0.5, 0.6	216.78	0.009181	33.364	6.497422371
Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Tau 0.3, 0.4	219.46	0.009377	48.573	4.518147942
Tau 0.4, 0.5	217.65	0.009271	39.439	5.518649053
Tau 0.5, 0.6	216.78	0.009181	33.364	6.497422371



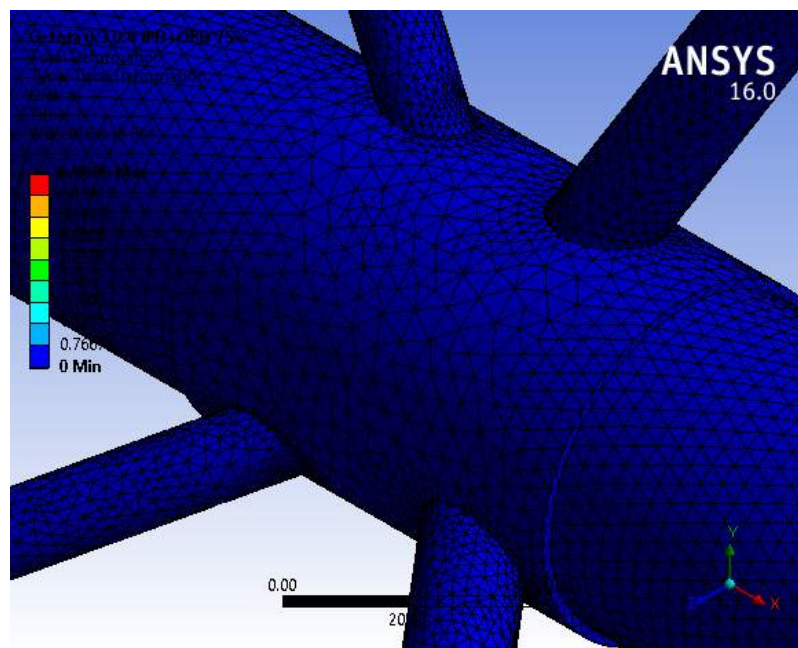
Gambar E.7 Grafik SCF pada variasi  $\tau$  dengan beban aksial

## B. BEBAN IPB+OPB

### B.1 Tau 0.3,0.4



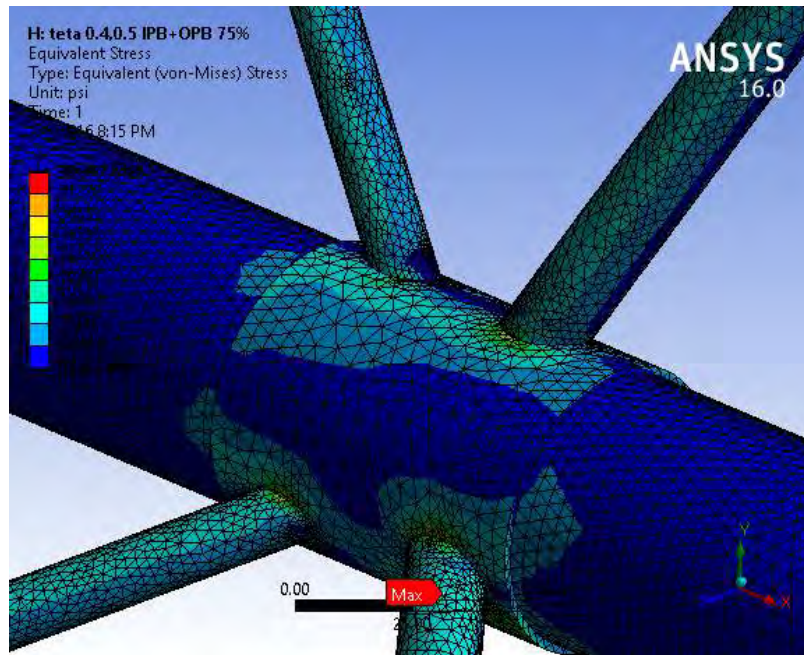
Gambar E.8 Distribusi tegangan akibat beban IPB+OPB Tau 0.3,0.4



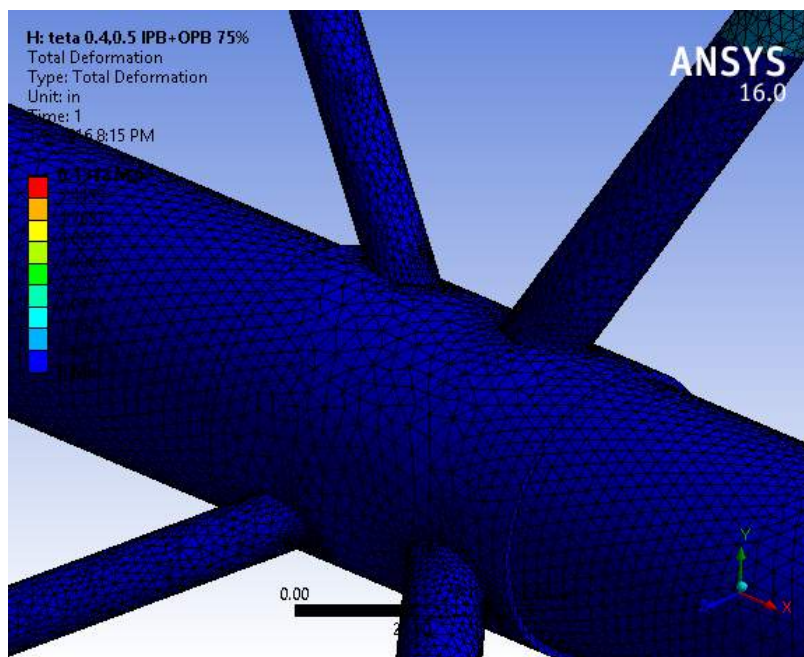
Gambar E.9 Deformasi akibat beban IPB+OPB



## B.2 Tau 0.4,0.5

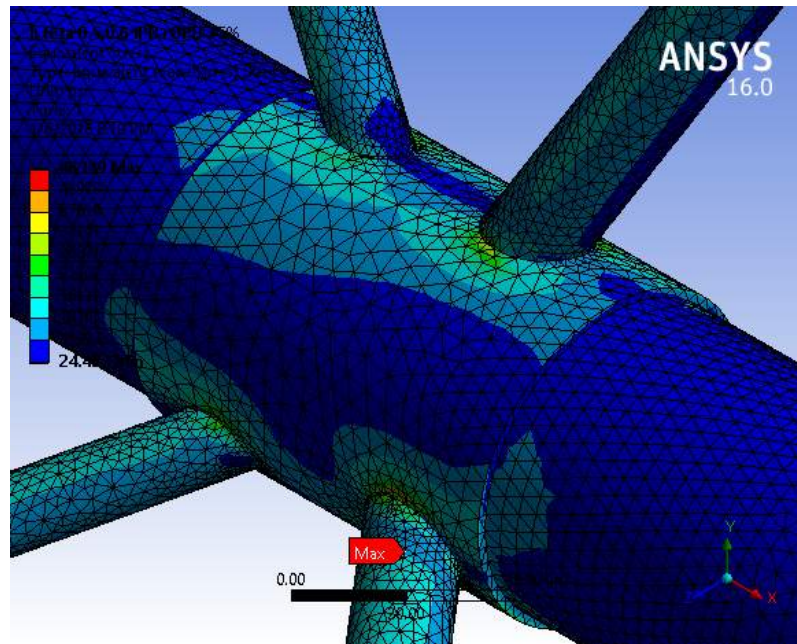


Gambar E.10 Distribusi tegangan akibat beban IPB+OPB Tau 0.4,0.5

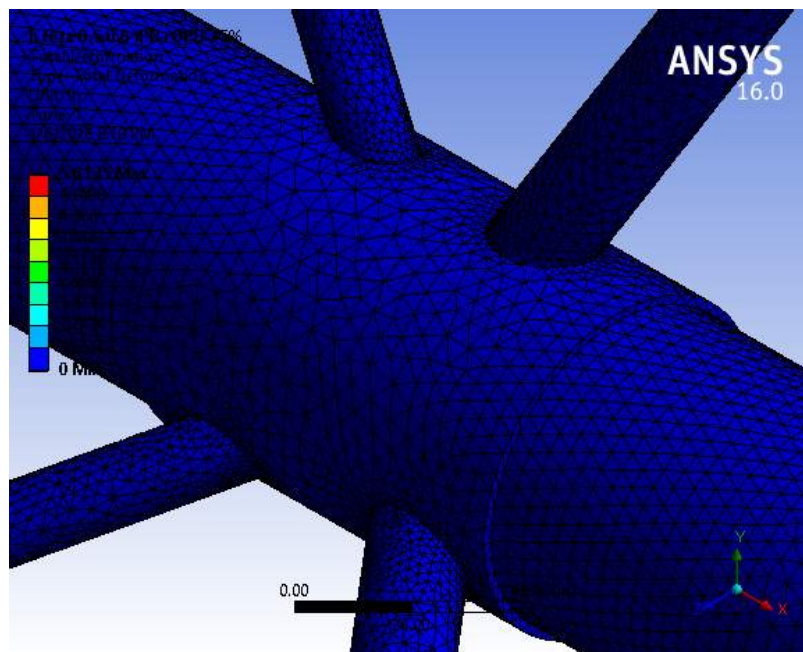


Gambar E.11 Deformasi akibat beban IPB+OPB

### B.3 Tau 0.5,0.6



Gambar E.12 Distribusi tegangan akibat beban IPB+OPB Tau 0.5,0.6

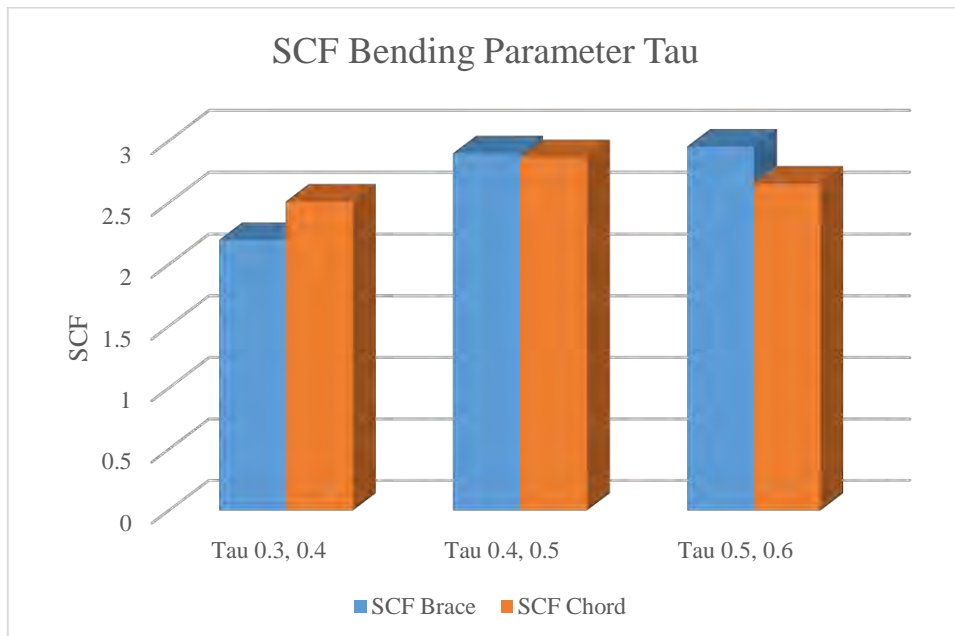


Gambar E.13 Deformasi akibat beban IPB+OPB



Tabel E.2 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\tau$  dengan beban IPB+OPB

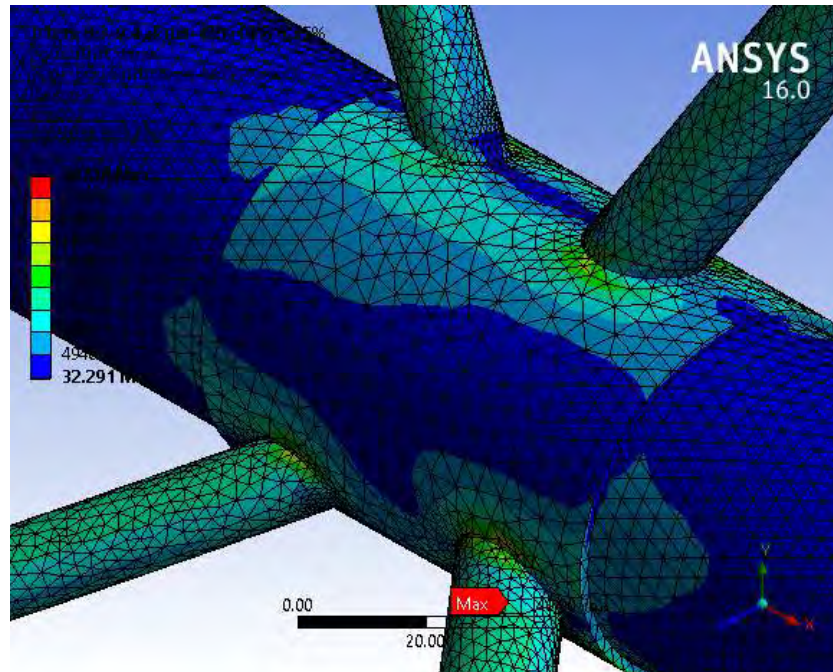
Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Tau 0.3, 0.4	37461	6.9	17049	2.197254971
Tau 0.4, 0.5	36558	6.13	12610	2.899127676
Tau 0.5, 0.6	36462	5.613	12342	2.954302382
Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Tau 0.3, 0.4	39353	6.9	15682	2.509437572
Tau 0.4, 0.5	45099	6.13	15730	2.867069294
Tau 0.5, 0.6	41488	5.613	15632	2.654042989



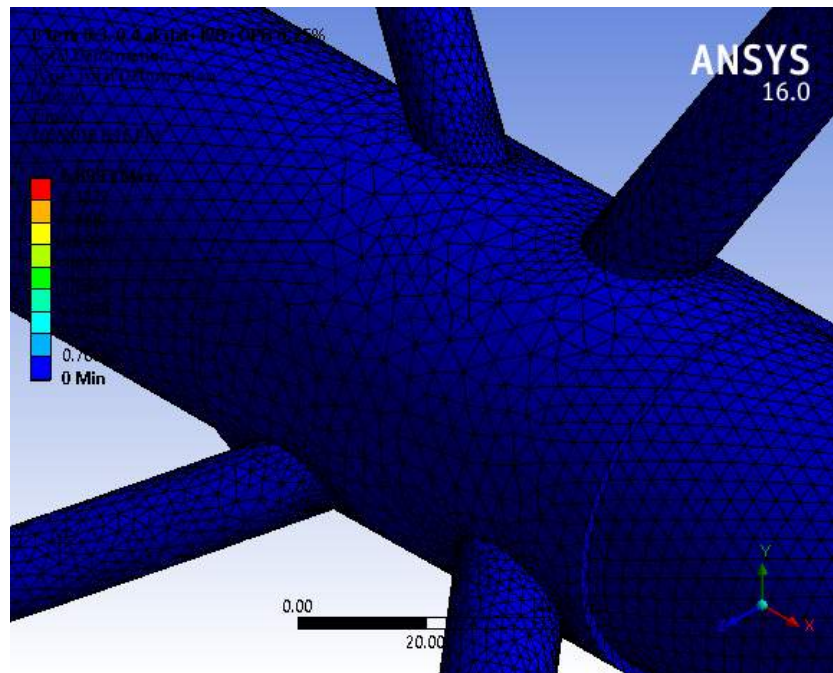
Gambar E.14 Grafik SCF pada variasi  $\tau$  dengan beban IPB+OPB

### C. BEBAN AKSIAL+IPB+OPB

#### C.1 Tau 0.3,0.4

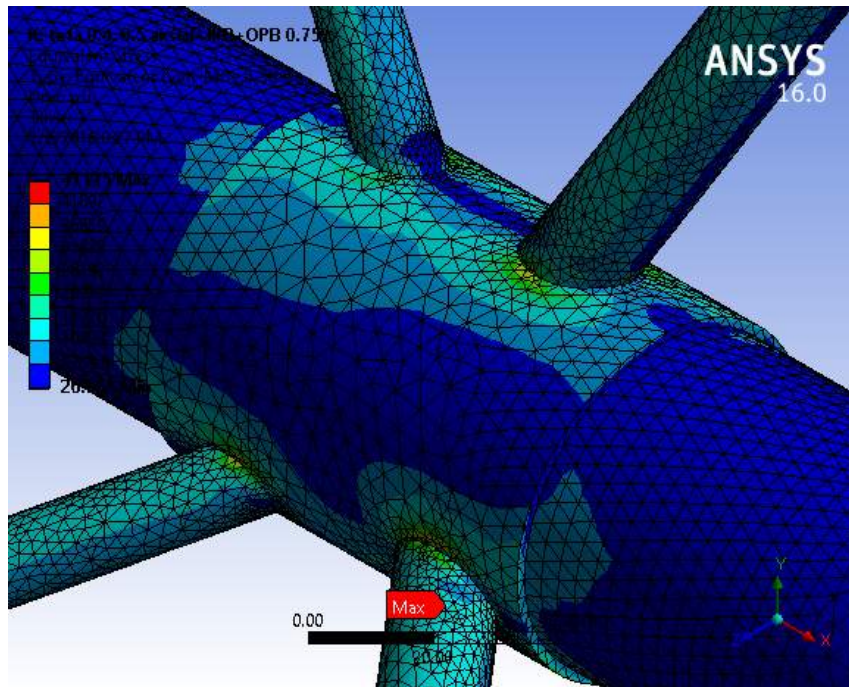


Gambar E.15 Distribusi tegangan akibat beban AKSIAL+IPB+OPB Tau 0.3,0.4

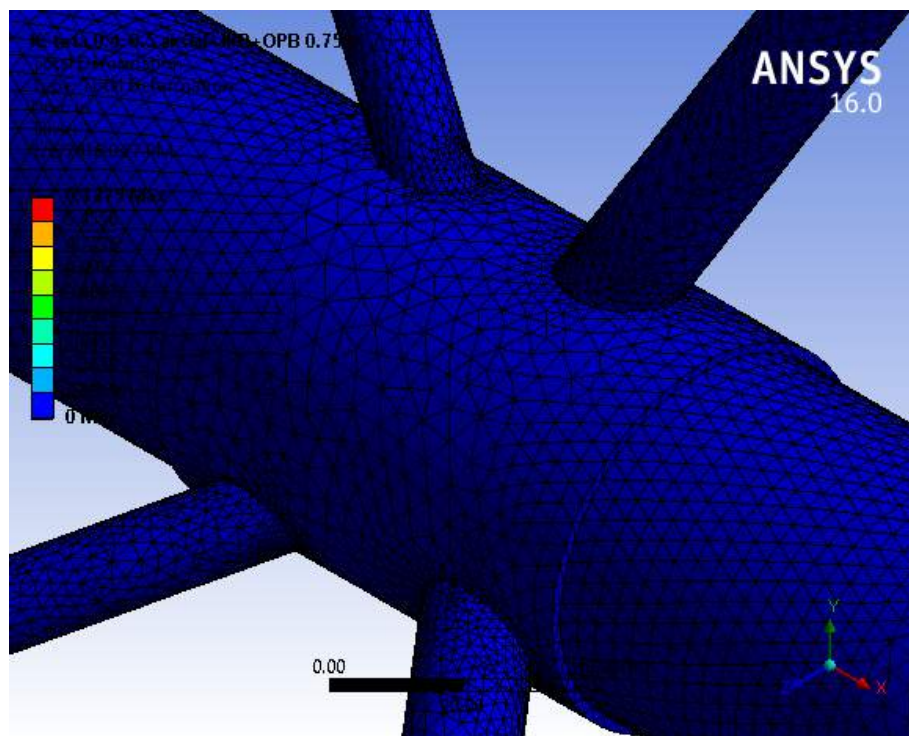


Gambar E.16 Deformasi akibat beban AKSIAL+IPB+OPB

### C.2 Tau 0.4,0.5



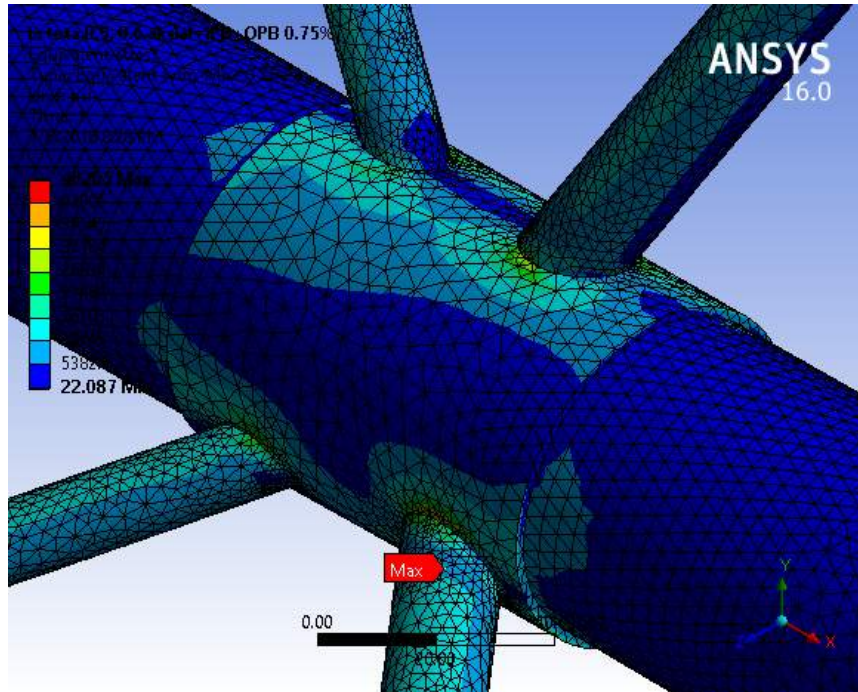
Gambar E.17 Distribusi tegangan akibat beban AKSIAL+IPB+OPB Tau 0.4,0.5



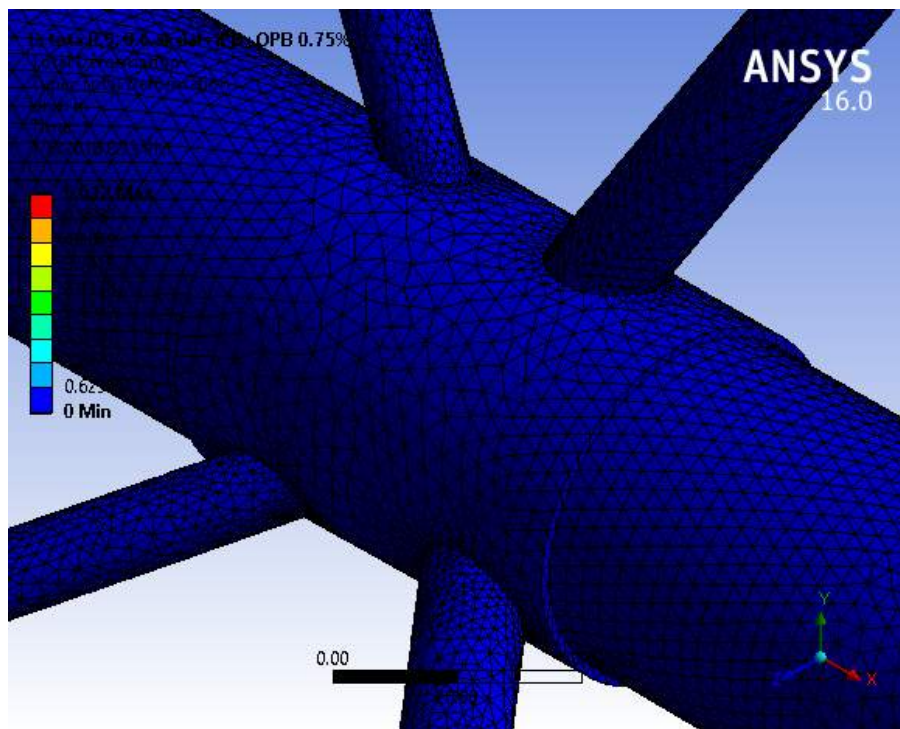
Gambar E.18 Deformasi akibat beban AKSIAL+IPB+OPB



### C.3 Tau 0.5,0.6



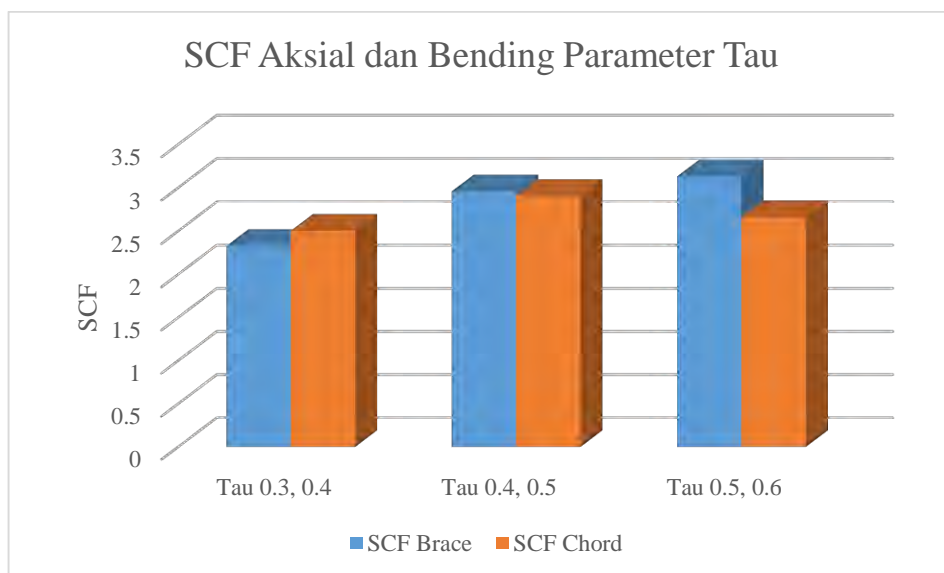
Gambar E.19 Distribusi tegangan akibat beban AKSIAL+IPB+OPB Tau 0.5,0.6



Gambar E.20 Deformasi akibat beban AKSIAL+IPB+OPB

Tabel E.3 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\tau$  dengan beban AKSIAL+IPB+OPB

Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Tau 0.3, 0.4	39589	6.899	17015	2.326711725
Tau 0.4, 0.5	37258	6.137	12598	2.957453564
Tau 0.5, 0.6	38677	5.612	12360	3.12920712
Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Tau 0.3, 0.4	39409	6.899	15749	2.502317607
Tau 0.4, 0.5	45623	6.137	15709	2.904258705
Tau 0.5, 0.6	41688	5.612	15669	2.66053992

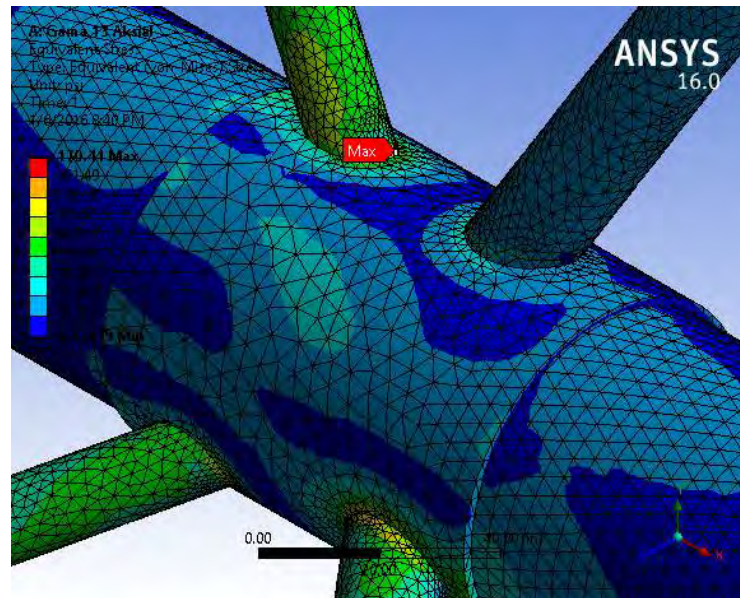


Gambar E.21 Grafik SCF pada variasi  $\tau$  dengan beban AKSIAL+IPB+OPB

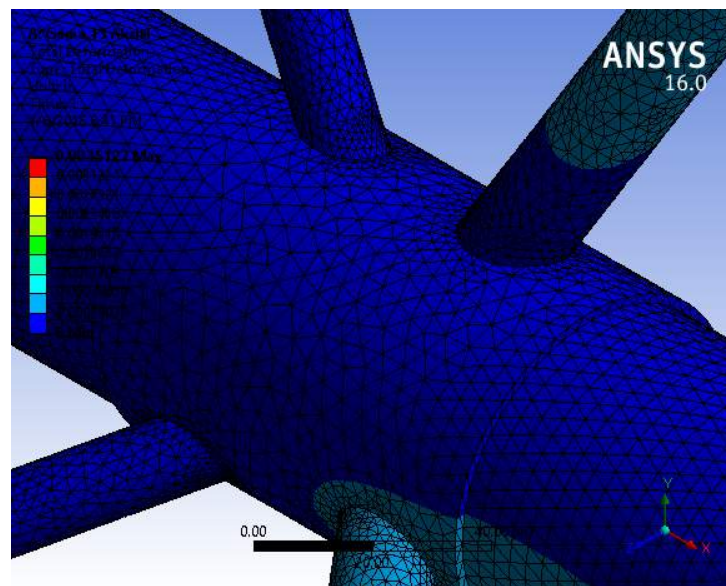
HASIL TEGANGAN *HOTSPOT*, TOTAL DEFORMASI DAN FAKTOR  
KONSENTRASI TEGANGAN VARIASI  $\gamma$

A. BEBAN AKSIAL

A.1 Gamma 13



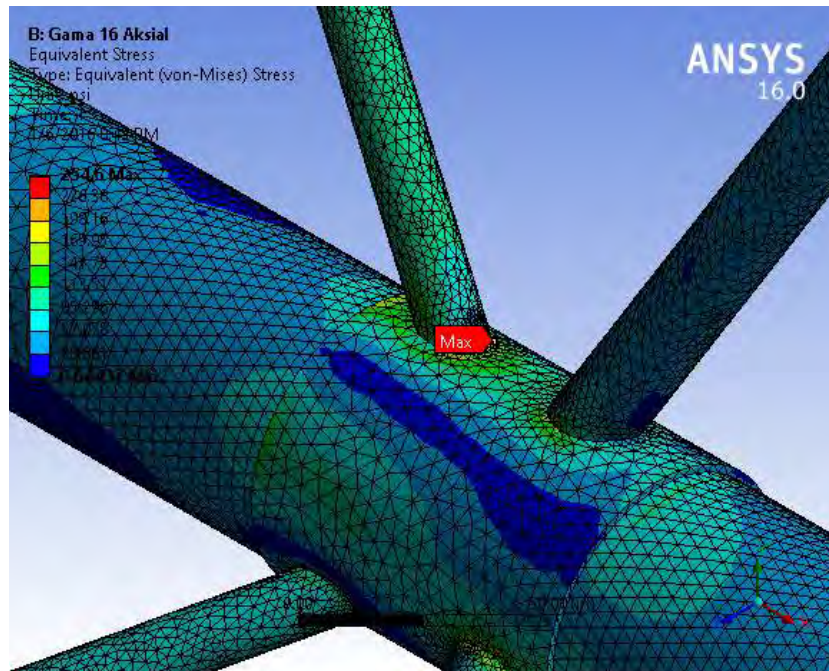
Gambar F.1 Distribusi tegangan akibat beban aksial Tau 0.3,0.4



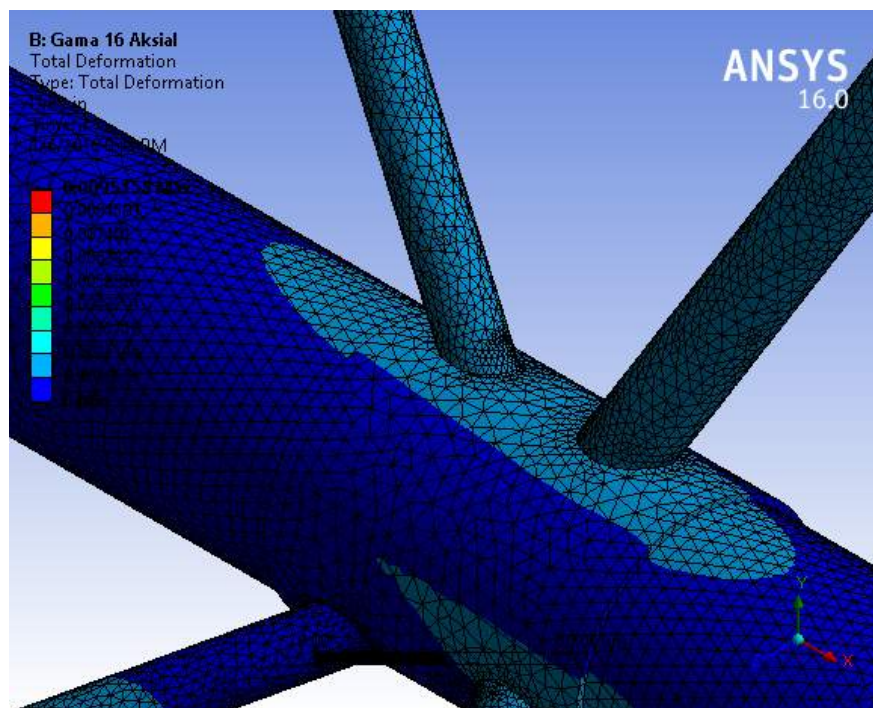
Gambar F.2 Deformasi akibat beban aksial



## A.2 Gamma 16

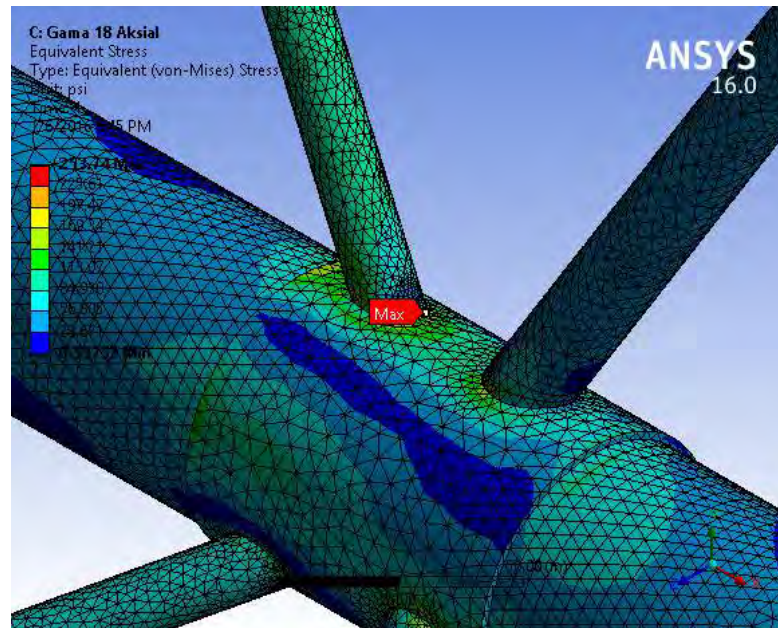


Gambar F.3 Distribusi tegangan akibat beban aksial Gamma 16

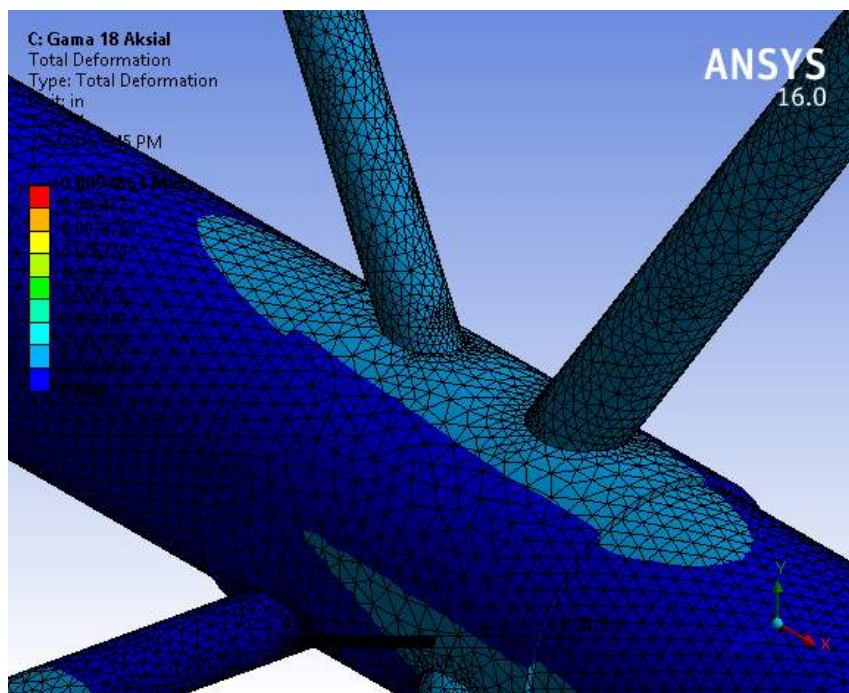


Gambar F.4 Deformasi akibat beban aksial

### A.3 Gamma 18



Gambar F.5 Distribusi tegangan akibat beban aksial Gamma 18

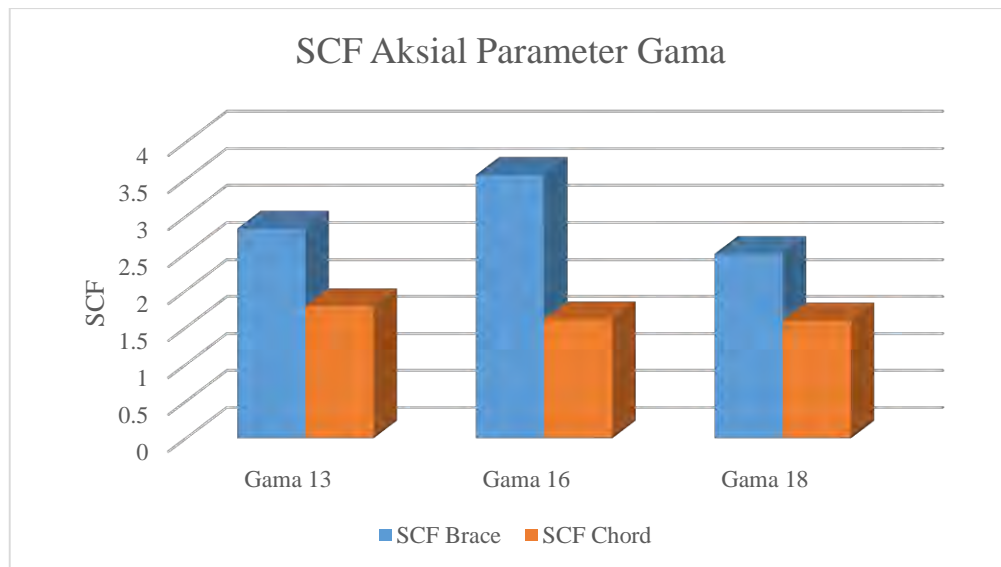


Gambar F.6 Deformasi akibat beban aksial



Tabel F.1 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\gamma$  dengan beban aksial

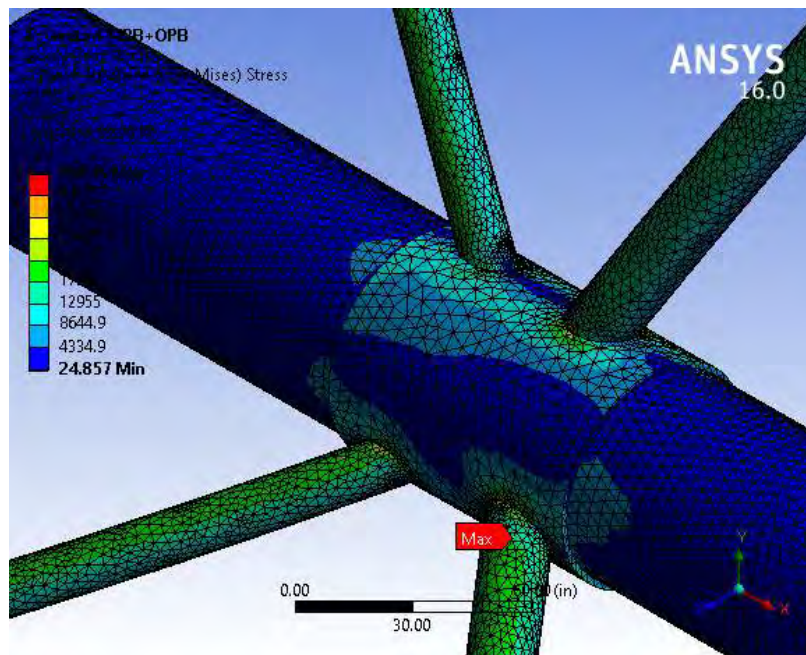
Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Gama 13	180.84	0.003512	63.826	2.833328111
Gama 16	227.19	0.009486	63.826	3.559521198
Gama 18	159.15	0.009515	63.827	2.493458881
Beban Aksial				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Gama 13	169.49	0.003512	94.861	1.786719516
Gama 16	203.53	0.009486	126.35	1.610842897
Gama 18	198.78	0.009515	124.64	1.594833119



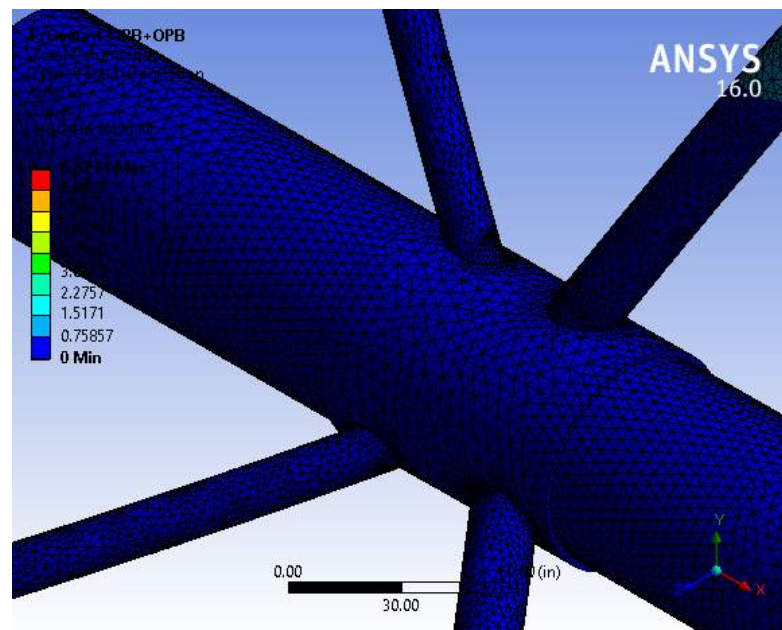
Gambar F.7 Grafik SCF pada variasi  $\gamma$  dengan beban aksial

## B. BEBAN IPB+OPB

### B.1 Gamma 13

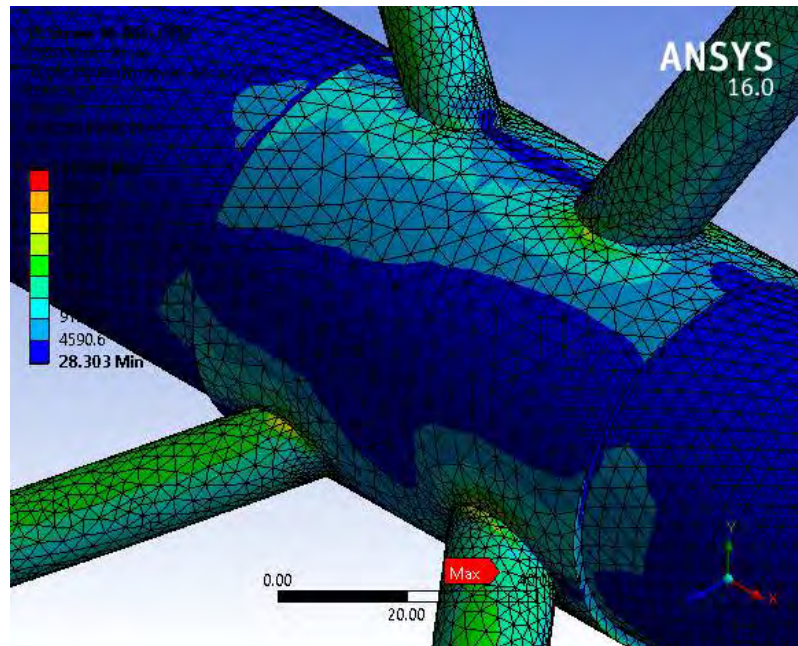


Gambar F.8 Distribusi tegangan akibat beban IPB+OPB Gamma 13

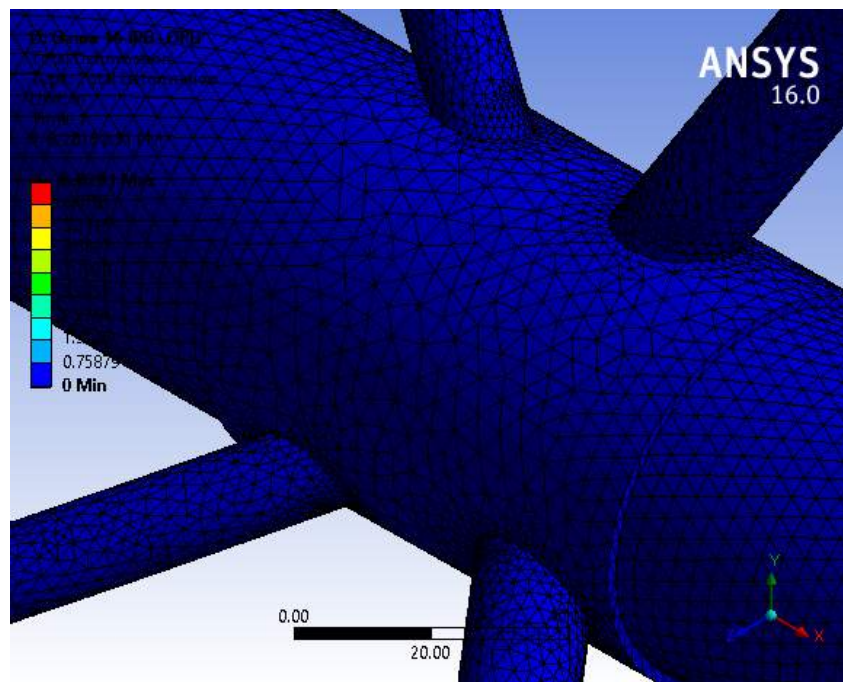


Gambar F.9 Deformasi akibat beban IPB+OPB

## B.2 Gamma 16



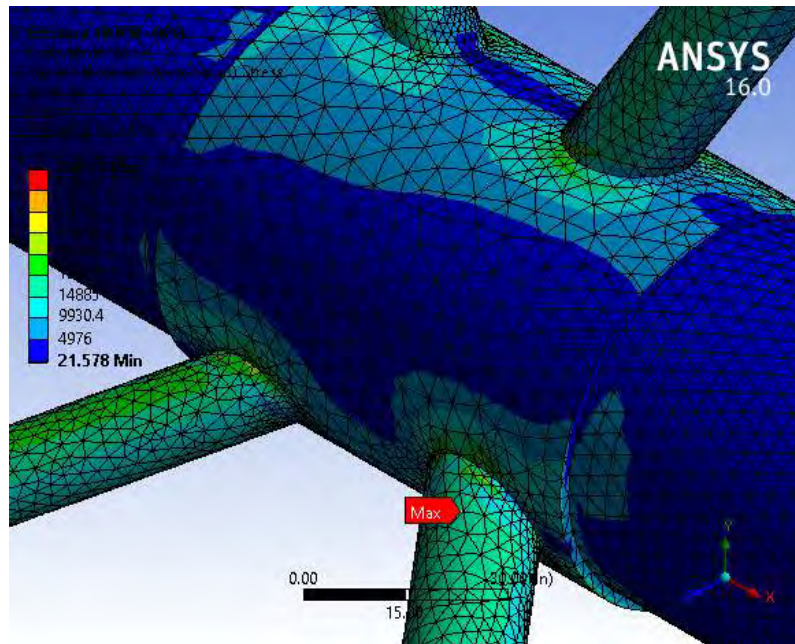
Gambar F.10 Distribusi tegangan akibat beban IPB+OPB Gamma 16



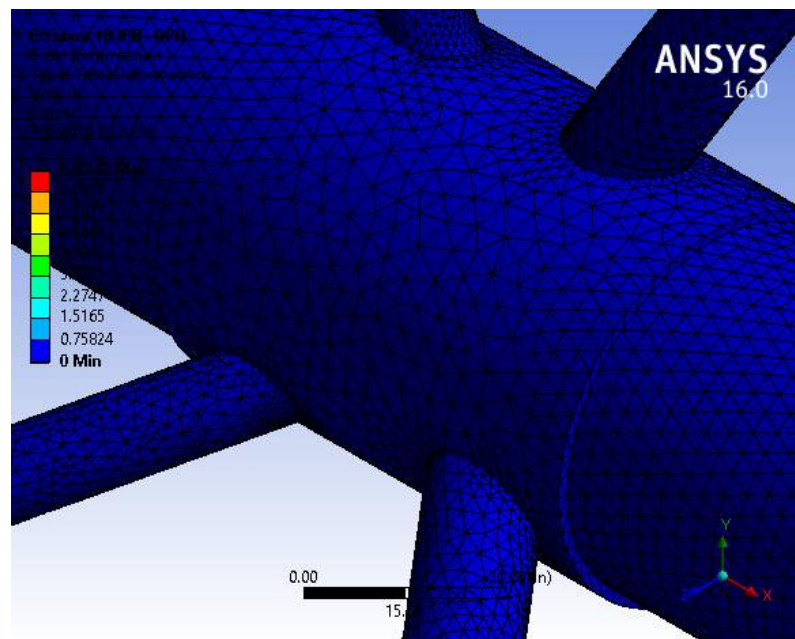
Gambar F.11 Deformasi akibat beban IPB+OPB



### B.3 Gamma 18



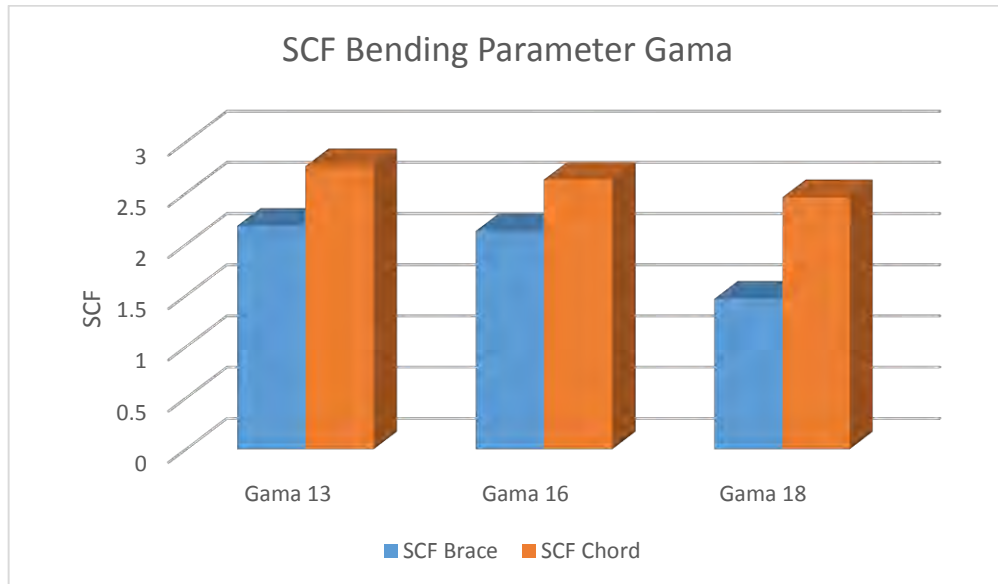
Gambar F.12 Distribusi tegangan akibat beban IPB+OPB Gamma 18



Gambar F.13 Deformasi akibat beban IPB+OPB

Tabel F.2 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\gamma$  dengan beban IPB+OPB

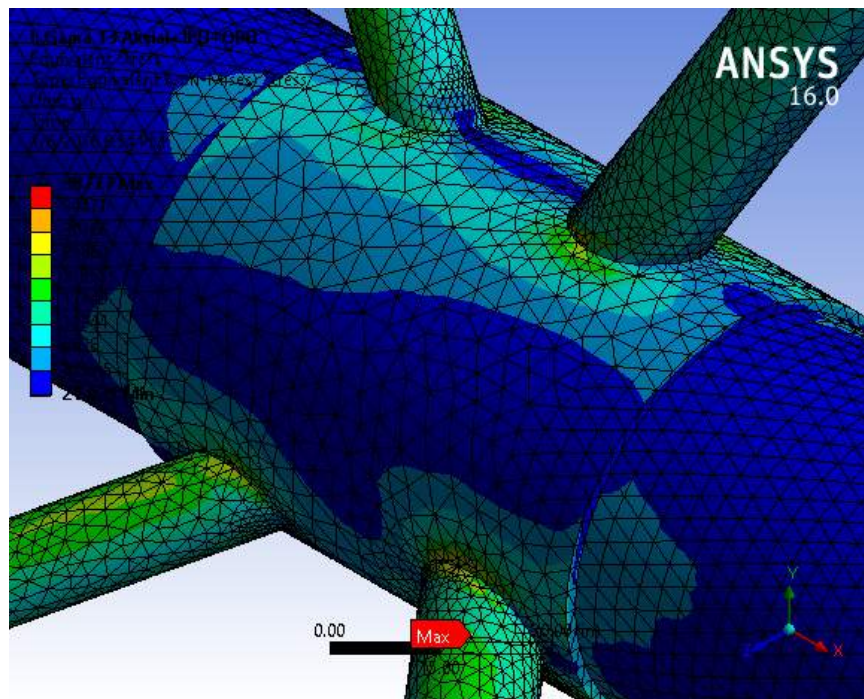
Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Gama 13	39641	6.9	18183	2.180113293
Gama 16	38732	6.89	18183	2.130121542
Gama 18	26682	6.82	18183	1.467414618
Beban IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Gama 13	37389	6.9	13533	2.762802039
Gama 16	35456	6.89	13470	2.632219748
Gama 18	33646	6.82	13676	2.460222287



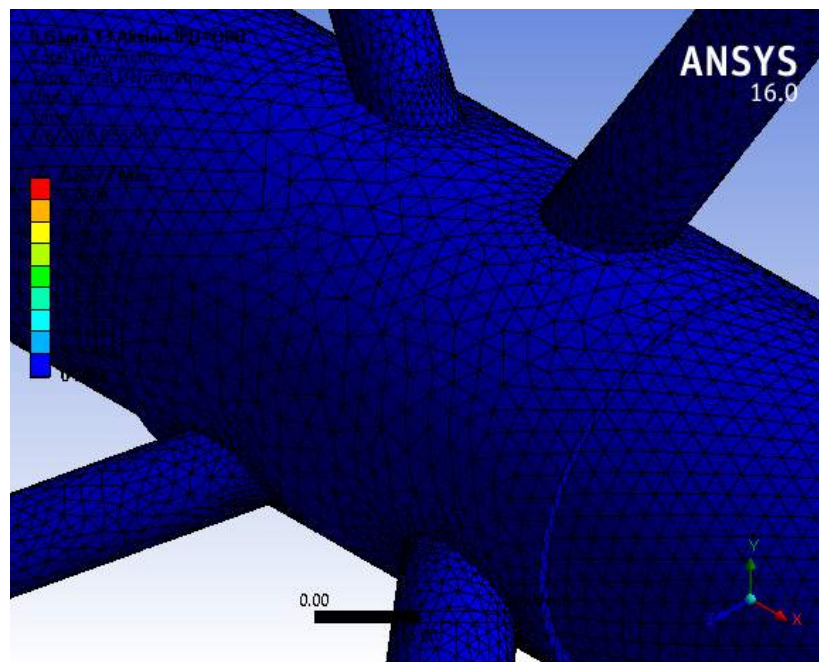
Gambar F.14 Grafik SCF pada variasi  $\gamma$  dengan beban IPB+OPB

### C. BEBAN AKSIAL+IPB+OPB

#### C.1 Gamma 13



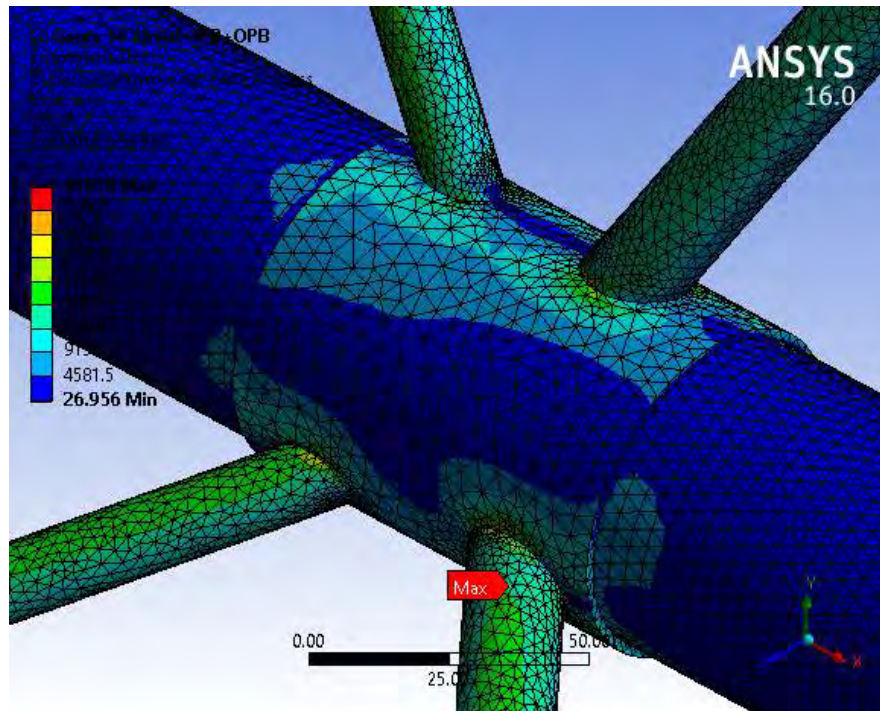
Gambar F.15 Distribusi tegangan akibat beban AKSIAL+IPB+OPB Gamma 13



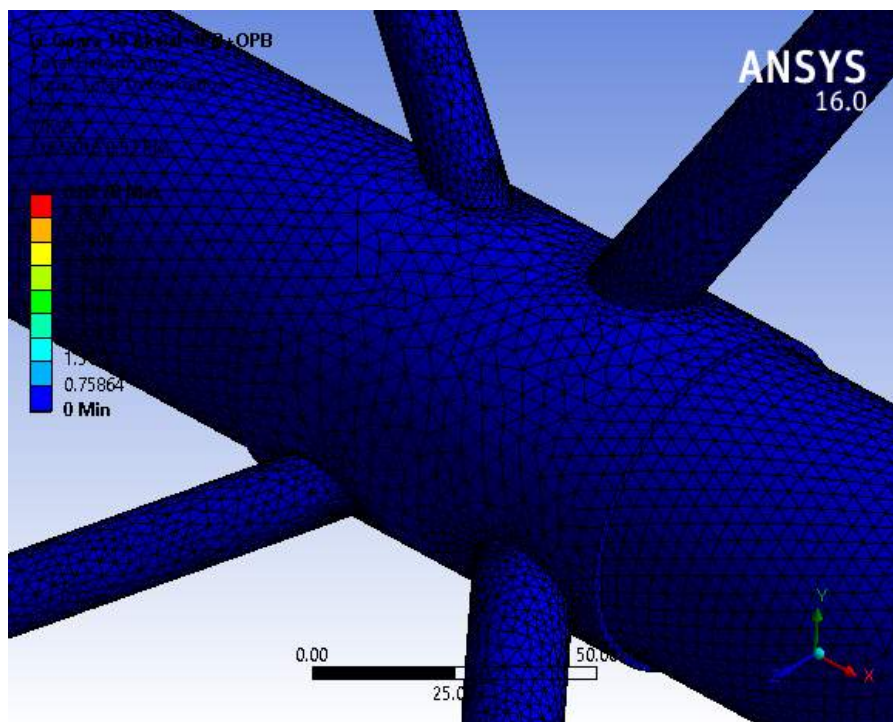
Gambar F.16 Deformasi akibat beban AKSIAL+IPB+OPB



## C.2 Gamma 16

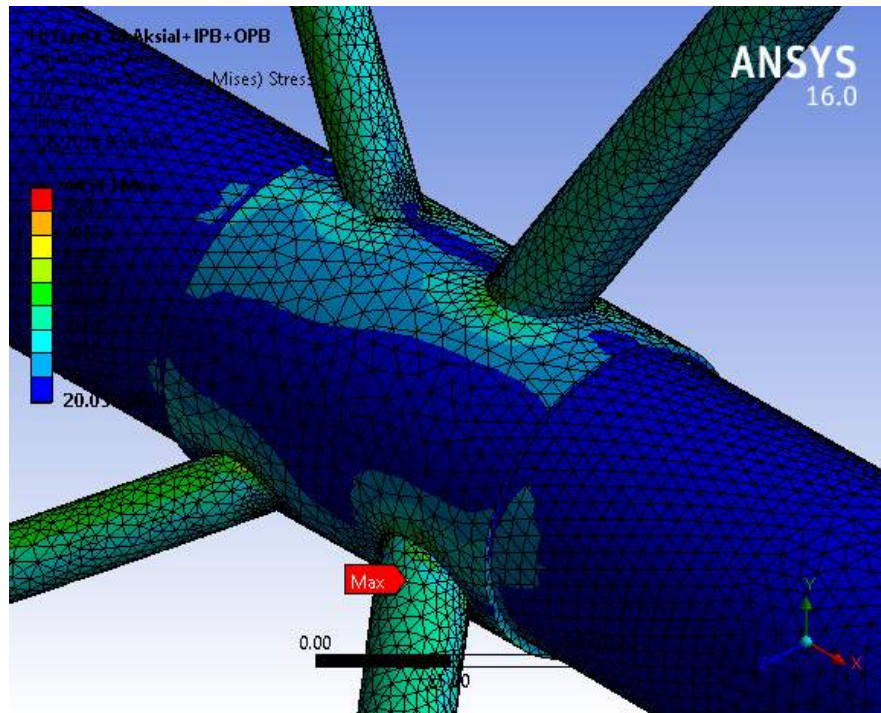


Gambar F.17 Distribusi tegangan akibat beban AKSIAL+IPB+OPB Gamma 16

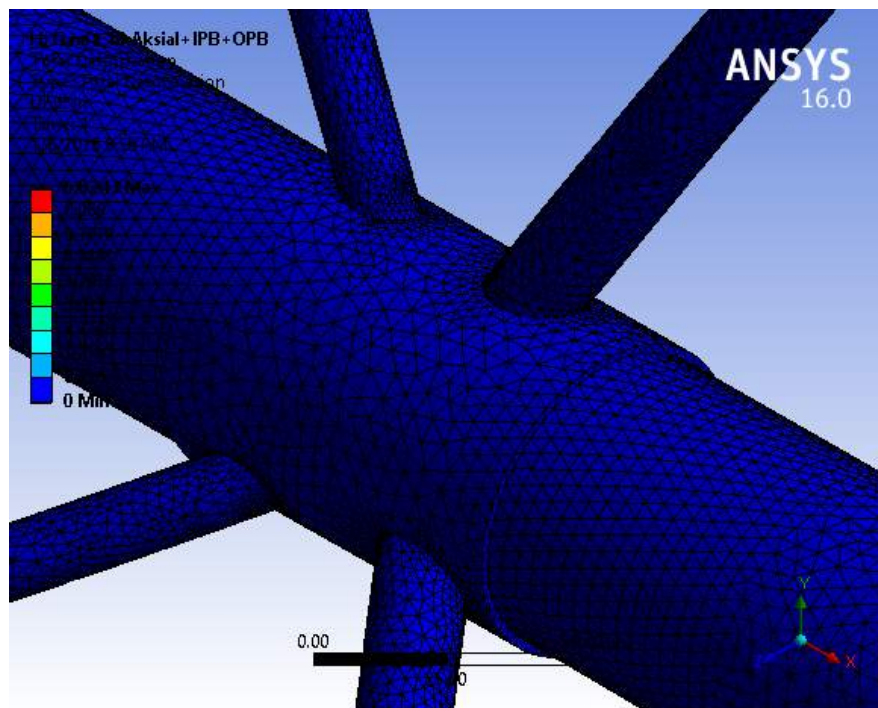


Gambar E.18 Deformasi akibat beban AKSIAL+IPB+OPB

### C.3 Gamma 18



Gambar F.19 Distribusi tegangan akibat beban AKSIAL+IPB+OPB Gamma 18

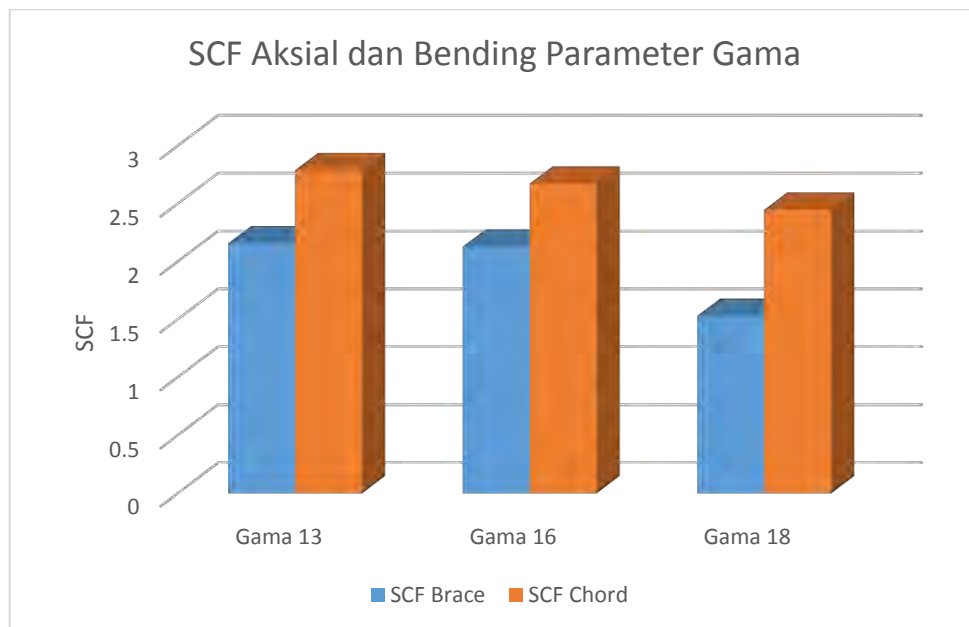


Gambar F.20 Deformasi akibat beban AKSIAL+IPB+OPB



Tabel F.3 Hasil faktor konsentrasi tegangan pada setiap variasi parameter  $\gamma$   
dengan beban AKSIAL+IPB+OPB

Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF BRACE
Gama 13	39244	6.8272	18211	2.154961287
Gama 16	38719	6.8278	18211	2.126132557
Gama 18	27833	6.8242	18211	1.528361979
Beban Aksial+IPB+OPB				
Model	Hot Spot Stress (Psi)	Total Deformation (In)	Nominal Stress (Psi)	SCF CHORD
Gama 13	37693	6.8272	13524	2.787119196
Gama 16	36132	6.8278	13526	2.671299719
Gama 18	33429	6.8242	13667	2.445964733



Gambar F.21 Grafik SCF pada variasi  $\gamma$  dengan beban AKSIAL+IPB+OPB

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhlaghi, Farshid Z. 2009. **“Fatigue Life Assessment of Welded Bridge Details Using Structural Hot Spot Stress Method”**. *Master’s thesis*. Chalmers University of Technology, Göteborg.
- API RP 2A WSD, 1993 Recommended for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform
- Chiew SP, et al, 1998 **“SCF design equations for steel multiplanar tubular XT-joints”**. *Struct Eng*, Vol 13, 215-221
- DNV RP C203, 2011, Recommended Practice, Fatigue Design of Offshore Steel Structures
- Karamanos, S. A, et al. 2000 **“ Stress concetrations in multi-planar tubular DT-joints for fatigue design”**, *J Struct Eng ASCE* 2000; 126(11): 1320-1330
- Karamanos, S. A, et al. 2001 **“ SCF equations in multi-planar welded tubular DT-joints including bending effects”** *Marine Structures, Greece*, Vol 15, 157-173
- Lee, M., dan Dexter, E. 2004. **"Finite-Element Modelling of Multi-Planar Offshore Tubular Joints"**. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol 126, March.
- Marshall PW, Luyties WH. 1982 **“ Allowabble stresses for fatigue design”**. **Proceedings, Behavior of Offshore Strucutres**, Boston, MA, USA
- Murthy, D. S., et al. 2004. **"An Efficient FE Modelling Strategy for Fracture Analysis of Tubular Joints"**. **Journal Structural Engineering Research Centre**, Vol 85, May.
- Perkasa, Eko W. 2012. **“Analisa Resiko Kepecahan Kondisi Mismatching pada Welded Tubular Joint”**. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan*. FTK-ITS, Surabaya.

Syahroni, N. & Berge, S. 2010.” **Hot Spot Stress Approach for Fatigue Assessment of Welded Joints**”. *Proceedings of the 29th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE)*. Shanghai, China, June 6-11, 2010.

Underwater Engineering Group. 1985 “**Theory of plate and shell**”, McGraw hill book company

## BIODATA PENULIS



Urfan Hidayat lahir di Surabaya pada tanggal 28 April 1993, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN Kalirungkut IV Surabaya, SMP Negeri 6 Surabaya, dan SMA Negeri 5 Surabaya. Setelah lulus pada tahun 2011, penulis mengikuti program Seleksi Nasional Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri dan diterima di jurusan Teknik Kelautan FTK – ITS dan terdaftar dengan NRP. 4311100075. Selain kesibukan dalam

kuliah penulis juga ikut serta dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan sebagai Staff Departemen Dalam Negeri pada periode 2012-2013 dan Ketua Departemen Dalam Negeri pada periode 2013-2014, penulis juga pernah mengikuti UKM OR Air divisi dayung. Pada bulan Juli hingga September 2014, penulis berkesempatan Kerja Praktek di PT Zee Engineering di BSD Tangerang Selatan, dimana penulis memperoleh banyak pengetahuan tentang dunia konsultan engineering. Dalam tugas akhir ini penulis mengambil bidang struktur, dengan kajian mengenai studi parametrik dan tegangan hotspot pada multiplanar *tubular joint double k*

### Kontak Penulis

*Email* : urfan.hidayat13@gmail.com

No. HP : 089651186554